

5.0 ZATÍŽENÍ VÁLCOVÝCH KONSTRUKCÍ KOLONOVÉHO TYPU A KONTROLA UZLOVÝCH BODŮ

Mezi stojaté válcové konstrukce patří kolony, komíny a věže. Na tomto místě bude zmínka především o kolonách. Podle zkušeností je třeba sledovat nejen zatížení, která mohou ovlivnit dimenzování hlavních částí základní válcové nádoby, ale kontrolovat i některé uzlové body, jak vyplývá ze schématu na obr.5.1.

- A. Primární účinky
- a) vnitřní nebo vnější přetlak,
 - b) statický účinek větru,
 - c) dynamický účinek větru,
 - d) dynamický účinek seismicity,
 - e) ohybové namáhání stavěním kolony při montáži.
- B. Sekundární účinky
- f) změna tloušťky stěny válce,
 - g) zeslabení stěny otvory,
 - h) změna teploty, zejména mezi spodkem kolony a podstavcem.

Dynamický účinek větru nelze superponovat s dalším zatížením.

Kromě běžných dimenzování stěn válce, den, přírubových spojů, hrdel apod. se u kolon vyskytují místa, která je třeba kontrolovat na určitá zatížení; např.

1. Obvodový svar kolony v místě změny tloušťky,
2. Obvodový svar kolony v místě připojení podstavce,
3. Místa připojení plošin, závěsných ok, připojení pater,
4. Konstrukční prvky pater,
5. Tloušťku podstavce při max. tlakovém zatížení jednak v celém průřezu a jednak v místech zeslabených otvory,
6. Zatížení základu,
7. Konstrukci patečního prstence, bez a s rámovou konstrukcí pro základové šrouby,
8. Základové šrouby.

5.1 Statický a dynamický účinek větru

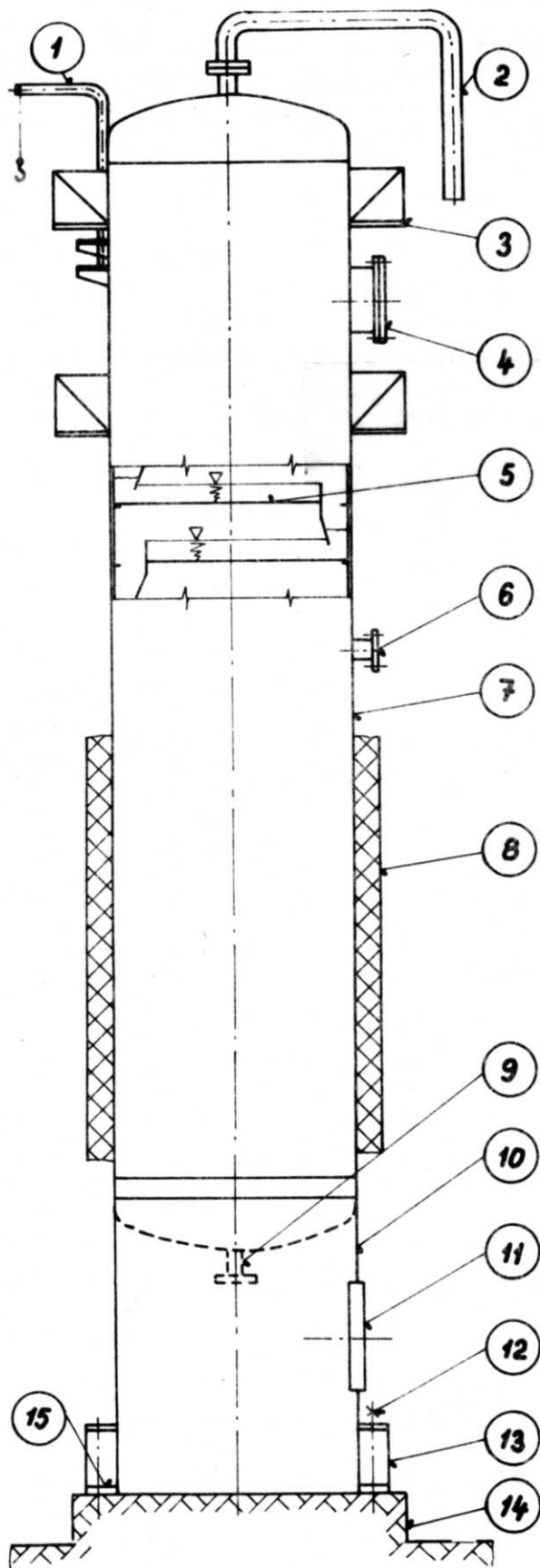
Při proudění vzduchů kolem stojatého válce bylo již Strouhalem, Rayleighem a Kármánem dokázáno, že výchylka válce při statickém účinku větru vzniká ve směru proudění, kdežto při samobuzeném působení kmitá válec kolmo na směr proudění (dynamický účinek). Toto kmitání vyvolává periodická síla, jejíž frekvence odpovídá frekvenci odtrhávání vzdušných proudů [5-11 str.175]. Zde ustálené vynucené kmitání je udržováno silami, které vznikají vlastním pohybem (při odtržení proudnic vzniká podtlak, který přisává válec kolmo k proudění, poté dojde k odtržení proudnic na protilehlé straně a proces se opakuje); mizí, když se pohyb zastaví. Kritická rychlost větru w_{kr} , která vyvolává rezonanční kmitání, vychází z podmínky kritického čísla homochronismu (Strouhalova čísla)

$$Ho_{kr} = \frac{F}{Re} = \frac{f \cdot D^2}{\frac{w \cdot D}{\nu}} = \frac{D}{T \cdot w} = 0,2 \quad (5-1)$$

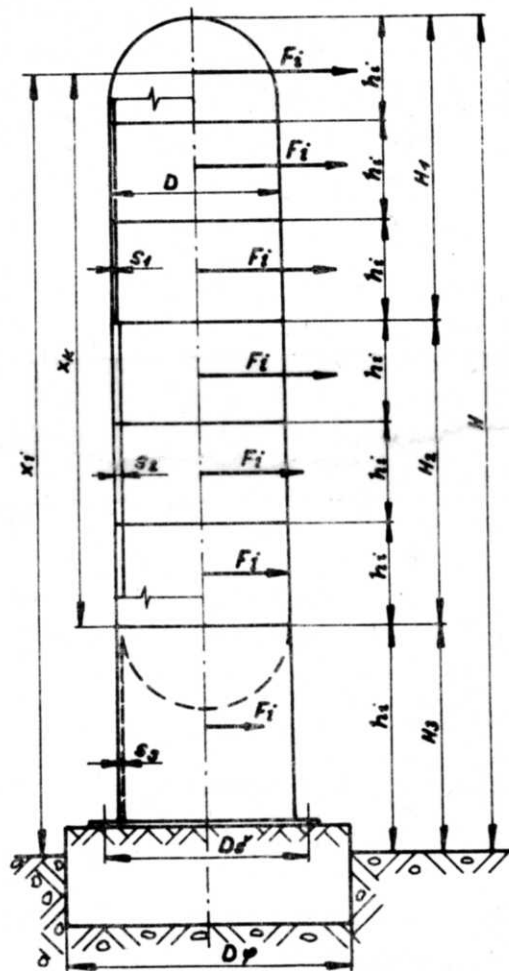
Ve skutečnosti se díky např. jednostrannému oteplení při slunečním svitu může tato hodnota pohybovat v rozmezí 0,08 až 0,25.

Pro výpočtovou hodnotu 0,2 je

$$w_{kr} = \frac{1}{Ho_{kr}} \frac{D}{T} \doteq 5 \frac{D}{T} \quad (5-2)$$



obr.5.1



obr.5.2

kde $T = 1/f$, doba vlastního kmitu [s]

5.1.1 Statický účinek větru vychází z Bernoulliho rovnice pro volný proud s indexem o a na povrchu válce s indexem i ; podle údajů Hydrometeorologického ústavu se rychlost větru liší podle přímořských a vnitrozemských pásem.

$$p_o + Q \frac{w_o^2}{2} = p_i + Q \frac{w_i^2}{2}$$

neboli

$$p_i - p_o = \frac{Q w_o^2}{2} \left[1 - \left(\frac{w_i}{w_o} \right)^2 \right] =$$

$$= q_o c_i = q_i \quad (5-3)$$

kde $c_i = f(\text{Re}, \text{výšky } H, \text{ drsnosti } \epsilon)$.

S výškou se mění rychlost podle adiabatického rozdělení. Oblasti podle tlaku větru [5-5] jsou rozděleny do oblastí I až VII. (I-270; II-350; III-450; IV-550; V-700; VI-850 a VII-1 000 Pa.) Rozdělení podle výšky (ČSN # 30005) je pro

$$\begin{aligned} h = 0 \text{ až } 10 \text{ m} & \quad q_i = 539 \text{ Pa} = \text{konst.} \\ h = 10 \text{ až } 50 \text{ m} & \quad q_i = 2500 \frac{(h+13)}{(h+95)} \text{ Pa} \\ h > 50 \text{ m} & \quad q_i = 990 + 2h \text{ Pa} \end{aligned}$$

Rychlost větru a tím i jeho tlak je třeba považovat za hodnotu zprůměrovanou. Ve skutečnosti však rychlost větru vykazuje jakousi periodickou funkční závislost na čase označovanou jako poryvy větru. Jejich vlivem dochází k rozkřívání kolony ve směru větru, čímž vzrůstají podélné ohybové momenty.

Starší výpočet ohybového momentu od sil rozložených do pásem s $h_i \leq 10 \text{ m}$ (obr.5.2) vzhledem k libovolnému místu A

$$M_V = \sum F_i \cdot (x_i - x_A) \quad (5-4)$$

kde x_i = výška působitelské síly F_i od země
 x_A = výška kontrolovaného místa A

Síla F_i

$$F_i = c_i \cdot q_{vi} \cdot A_i \quad (5-5)$$

kde výpočtový tlak větru se zvyšuje proti q_i o

$$q_{vi} = q_i \cdot (1 + c_1 \cdot c_2) \quad (5-6)$$

kde c_1 = součinitel poryvů; $c_1 = 1,1 \cdot \sqrt{T} + 0,7$, kde $c_1 < 1$ až $3,3 >$

c_2 = součinitel uvažující změnu tlaku podél výšky aparátu $c_2 = 0,385 - 1,75 \cdot 10^{-3} \cdot x_i$, kde $c_2 < 0,385$ až $0,21 >$

c_i = součinitel odporu - závisí na provedení konstrukce; pro hladký válec $c_i = 0,6$, válec s plošinami $c_i = 0,8$

A_i = čelní plocha uvažovaného pásma; $A_i = D_i \cdot h_i$

Podle nového výpočtu [5.5] se k momentu M_V (rovnice 5-4) přičítá moment M_{Vj}

$$M_V = \sum F_i (x_i - x_A) + \sum M_{Vj} \quad (5-4a)$$

kde M_{Vj} je moment ve výšce x_A od účinků větru na obslužnou plošinu určenou průmětem profilů plošiny $\sum A_p$

$$\begin{aligned} M_{Vj} &= 1,4 \cdot q_0 \cdot c_{vj} \cdot (x_j - x_A) \cdot (1 + 0,75 \cdot c_d \cdot c_{xj} \cdot c_{mj}) \cdot \sum A_p = \\ &= 1,4 \cdot M_z \cdot \sum A_p \end{aligned} \quad (5-7a)$$

kde q_0 = tlak větru ve výšce 10 m nad povrchem země [Pa]

$c_{vj} = (x_{i,j}/10)^{0,32}$, kde x_j = výška podlahy obslužné plošiny nad povrchem země (5-8a)

c_d = dynamický součinitel; $c_d = 3,81 \cdot \frac{0,035 + \epsilon}{0,122 + \epsilon}$; $\epsilon = \frac{T \cdot \sqrt{90}}{840}$ (5-8b)

$c_{xj} = 1,56 \cdot (x_j/H)^{1,6}$ (5-8c)

$c_{mj} = 0,6 \cdot (x_j/10)^{-0,16}$, když $c_{mj \text{ max}} = 0,6$ (5-8d)

A_p, A_j = průměty ploch plošiny do roviny kolmé na směr větru; uvažuje se buď celková plocha průmětů plošiny a jejího vybavení - A_j nebo součet všech průmětů profilů plošiny $\sum A_p$; chybí-li přesné údaje o tvaru plošiny, určí se moment

$$M_{vj} = 0,85 M_z \cdot A_j \quad (5-7b)$$

Síla F_i v rovnici (5-4a)

$$F_i = F_{i \text{ st}} + F_{id} \quad (5-5a)$$

Statická složka zatížení i -té části větrem

$$F_{i \text{ st}} = q_{i \text{ st}} \cdot A_i \quad (5-5b)$$

kde

$$q_{i \text{ st}} = q_0 \cdot c_{vi} \cdot c_i$$

s c_{vi} podle (5-8a) a c_i - aerodynamický součinitel pro hladký válec $c_i = 0,7$ (pro poměr drsnosti k průměru menší než $2 \cdot 10^{-4}$ $c_i = 0,6$), pro $A_j \dots c_i = 0,85$ a pro $\sum A_p \dots c_i = 1,4$.

Dynamická složka F_{id}

$$F_{id} = c_1 \cdot Q_i \cdot c_d \cdot a_{ri} \quad (5-5c)$$

kde c_1 - souč. pulzace rychlosti větru při výšce kolony H

	$H < 45$	$H < 60$	$H < 120 \text{ m}$
při $\xi = 0,05$	0,7	0,65	0,6
$\xi = 0,1$	-	0,75	0,65
$\xi = 0,2$	-	-	0,75

c_d - viz (5-8b)

c_{mk} - viz (5-8d)

a_{ri} - redukované poměrné zrychlení těžiště i -té části

$$a_{ri} = y_i \left(\frac{\sum_{k=1}^z y_k \cdot c_{mk} \cdot F_{k \text{ st}}}{\sum y_k^2 \cdot Q_k} \right)^{0,5} \quad (5-8e)$$

G_k - tíha k -té části kolony [N]

y_i a y_k je poměrný posuv těžišť i -té a k -té části při základním kmitání (viz dále 5-11).

5.1.2 Výpočet doby vlastních kmitů T

V podstatě doba kmitů T závisí na soustavě, materiálu, rozměrech kolony, příp. na rozložení hmoty konstrukce. Dále se uplatňuje hmota konstrukce, pružné síly při výchylce, útlum vyvolaný hysterezí materiálu a vlastnostmi podloží, tření ve spojích, odpor vzduchu. Vztah doby kmitu T a vlastní frekvence ω

$$T = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{y}{g}} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{Q_i}{g \cdot c_i}} \quad (5-9)$$

kde statický průhyb vyvolaný břemenem Q_i

$$y_i = \frac{Q_i \cdot H^3}{12 \cdot E \cdot J} \quad (5-10)$$

Kolonu s konstantní ohybovou tuhostí lze považovat za vetknutou konzolu, kde

$$T \approx 1,8.H \sqrt{\frac{Q.H}{g \cdot E.J}} \quad (5-9a)$$

Tlumení vyvolané kvalitou podloží pod základem ovlivňuje dobu T korekcí

$$T = 1,8.H \sqrt{\frac{Q}{g} \cdot \left(\frac{H}{E.J} + \frac{4}{c_{\varphi} \cdot I_{\varphi}} \right)} \quad (5-9b)$$

kde c_{φ} = součinitel nerovnoměrného stlačení základové půdy [$N \cdot m^{-3}$]; pokud není uvedena v projektu, v údajích inženýrské geologie, lze jej odhadnout pro půdy

- a) málo únosné $c_{\varphi} = 6 \cdot 10^7$
- b) středně únosné - $c_{\varphi} = 6 \cdot 10^7$ až 10^8
- c) únosné - $c_{\varphi} = 10^8$ až $2 \cdot 10^8$
- d) pro skalní podklad - $c_{\varphi} = 2 \cdot 10^8$

Tyto hodnoty jsou platné pro opěrné plochy betonového základu A_{φ} větší než 10 m^2 ; pro menší plochy se tyto údaje korigují hodnotou $3,2/\sqrt{A_{\varphi}}$.

I_{φ} - moment setrvačnosti základové spáry $I_{\varphi} = \pi/64 \cdot D_z^4$

U kolony proměnného průřezu (max. 3 změny) lze dobu T vypočítat z [5-5]

$$T = 2,\pi \cdot H \sqrt{\frac{\sum Q_i y_i^2}{g \cdot \left(\frac{H}{2 \cdot E I_1} \cdot c_z + \frac{1}{c_{\varphi} \cdot I_{\varphi}} \right)}} \quad (5-9c)$$

s průhybem

$$y_i = c_z \cdot \frac{H}{2 \cdot E I_1} \cdot c_{Hi} + \frac{x_i}{H} \cdot \frac{1}{c_{\varphi} \cdot I_{\varphi}} \quad (5-11)$$

kde součinitel změny tvaru c_z

$$c_z = \frac{2}{H^3} \left[H_1^3 \cdot (H_{21} + H_{31}) + H_2^3 \cdot H_{32} + 2 \frac{I_1}{I_3} H_1 \cdot H_2 \cdot H_3 \right] \quad (5-12)$$

Pro aparáty se dvěma proměnnými průřezy (I_1, I_2) je $H_3 = 0$; přitom

$$H_{21} = \frac{1}{3} + \frac{I_1}{I_2} \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^3 + \left(\frac{H_2}{H_1} \right)^2 + \frac{H_2}{H_1} \right] \quad (5-12a)$$

$$H_{31} = \frac{I_1}{I_3} \cdot \left[\frac{1}{3} \cdot \left(\frac{H_3}{H_1} \right)^3 + \left(\frac{H_3}{H_1} \right)^2 + \frac{H_3}{H_1} \right] \quad (5-12b)$$

$$H_{32} = \frac{I_1}{I_3} \cdot \left[\left(\frac{H_3}{H_2} \right)^2 + \frac{H_3}{H_2} \right] \quad (5-12c)$$

Součinitel

$$c_{Hi} = \frac{1}{2} \cdot \left[3 \cdot \left(\frac{x_i}{H} \right)^2 - \left(\frac{x_i}{H} \right)^3 \right] \quad (5-12d)$$

Celková doba kmitu skupiny aparátů, které stojí na společném základě a ve výšce jsou spojeny společnými obslužnými plošinami

$$T = 3,63 \cdot \sqrt{\frac{\sum Q_i \cdot H_i^2}{g \cdot c \cdot I_\varphi}} \quad (5-9d)$$

Při počtu průřezových změn větších než 3 se podstatně ovlivňuje vlastní frekvence. Pro výpočet doby kmitů T je výhodná metoda postupných aproximací, která vychází z podmínky, že v úvratí je maximální kinetická energie K_0 (při zanedbání tlumení) rovna deformační práci U_0 (potenciální energii) akumulované soustavou při této výchylce [5-9].

Je-li kinetická energie

$$K_0 = \frac{1}{2} \cdot \sum m_i \cdot w_i^2$$

a lze-li rychlost w_i vyjádřit součinem vlastní frekvence f a průhybem y_i

$$w_i = f \cdot y_i \quad \text{a} \quad m_i = Q_i/g, \quad \text{pak}$$

$$K_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{f^2}{g} \cdot \sum Q_i \cdot y_i^2 \quad (5-13)$$

Podobně potenciální energie

$$U_0 = \frac{1}{2} \cdot \sum F_i \cdot y_i \quad (5-14)$$

kde setrvačná síla

$$F_i = m_i \cdot f^2 \cdot y_i = \frac{Q_i}{g} \cdot f^2 \cdot y_i \quad (5-15)$$

pak z podmínky, že $K_0 = U_0$ (5-16)

$$f = \sqrt{\frac{\sum F_i \cdot y_i}{\sum m_i \cdot y_i^2}} \quad (5-17)$$

Jak kinetická energie, tak i setrvačné síly jsou ovlivněny vlastní frekvencí. Ze začátku aproximace vyjdeme z odhadu velikosti setrvačných sil oF_i ; deformační čáru v prvním kroku (označme příslušné veličiny indexem 0 před ní) odhadneme jako kvadratickou parabolu

$$oy_i = p \cdot \frac{x_i^2}{H^2} \quad \text{s parametrem } p = 1 \quad \text{- ta odpovídá prů-$$

hybu nosníku (válce s konstantní tloušťkou - za základ volíme zpravidla střední část); přitom

$$oT = 1,8 \cdot H \sqrt{\frac{Q \cdot H}{g \cdot EI}} \quad \text{a} \quad of = \frac{2\pi}{oT}$$

Pak síla

$$oF_i = \frac{Q_i}{g} \cdot of^2 \cdot oy_i$$

Působením těchto sil po délce kolony vznikne průhyb ${}_1y_i$ v působišti sil oF_i . Průhyb ${}_1y_i = -1/EI \int M_{oi} \cdot x \cdot dx$, což je statický moment elementární momentové plochy dx k libovolnému bodu i [5-6]

Porovnáním K_0 a U_0 lze vypočítat první opravenou vlastní frekvenci

$${}_1f = of \sqrt{\frac{\sum Q_i \cdot oy_i \cdot y_i}{\sum Q_i \cdot {}_1y_i^2}} \quad (5-17a)$$

Vypočtený průhyb ${}_1y_i$ se upraví na poměrnou hodnotu dělením všech vypočtených

hodnot ${}_1y_i$ maximální hodnotou ${}_1y_{\max}$; tím lze získat výchozí hodnoty deformační čáry pro druhý krok a pomocí nich lze spočítat první opravenou hodnotu setrvačných sil

$${}_1F_i = \frac{Q_i}{g} \cdot {}_1f^2 \cdot {}_1y_i$$

Jejich působením se vyvolávají průhyby ${}_2y_i$ a pak druhý krok plyne po dosažení

$${}_2f = {}_1f \sqrt{\frac{\sum Q_i \cdot {}_1y_i \cdot {}_2y_i}{\sum Q_i \cdot {}_2y_i}} \quad (5-17b)$$

Uvedený postup se nyní opakuje tak dlouho, až rozdíly mezi postupně vypočtenými hodnotami frekvencí se zmenší na požadovanou přesnost; obvykle postačí 5%, tj.

$$\frac{n^f - (n-1)^f}{(n-1)^f} \leq 0,05$$

5.1.3 Dynamické účinky

Přibližný vztah pro výpočet rezonanční amplitudy y_{dyn} ekvivalentní pružné konzoly (válce) kruhového průřezu vychází z průhybu volného jejího konce y_{st} zatížené aerodynamickými silami $F(x, \zeta)$ [5-2]

$$y_{\text{dyn}} = \frac{4}{d_{\log}} y_{\text{st}} \quad (5-18)$$

Podobně ohybový moment

$$M_{\text{dyn}} = \frac{4}{d_{\log}} M_{\text{st}} \quad (5-19)$$

s logaritmičným dekrementem útlumu d_{\log} udávajícím logaritmus dvou po sobě následujících amplitud y_{dyn} ; pro výpočet je uvažován jako konstanta, závislá na materiálu a způsobu spojení, např. pro ocelové konstrukce $d_{\log} = 0,035$ až $0,05$ jako hladké a šroubované válce, pro železobetonové konstrukce $d_{\log} = 0,02$.

Aerodynamické síly při vycházení z první vlastní frekvence [5-9]

$$F(x, \zeta) = \frac{4}{\pi} f_0 \cdot y^{\#}(x) \cdot \sin f \cdot \zeta \quad (5-20)$$

s maximální silou F_0 na volném konci uvažované konzoly; pro $w_{\text{kr}} = 8$ až 14 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ doporučuje Barnštejn [5-2] počítat s

$$F_0 = \frac{w_{\text{kr}}^2}{6,4} \cdot D \quad [\text{N} \cdot \text{m}^{-1}] \quad (5-21)$$

s hodnotou hustoty vzduchu při zemi $Q = 1,293 \text{ kg m}^{-3}$.

Dále značí

$$y^{\#}(x) = \frac{y_1 \left(\frac{x}{H}\right) x}{y_1 \left(\frac{x}{H}\right)_{x=H}} \quad (5-22)$$

poměrný průhyb ve tvaru první vlastní frekvence. Max. velikost kruhové frekvence je $\sin f \cdot \zeta = 1$; pak pro $x = H$ získáme max. hodnotu aerodynamické síly

$$F(x, \hat{z})_{\max} = \frac{4}{\pi} \cdot F_0 \quad (5-20a)$$

a pro libovolné působíště síly ve výšce x_i za předpokladu, že tvar vlastní frekvence odpovídá kvadratické parabole

$$F(x_i, \hat{z})_i = \frac{4}{\pi} \cdot F_0 \cdot \left(\frac{x_i}{H}\right)^2 \quad (5-20b)$$

Ohybové momenty od tohoto zatížení [5-3]

$$M_{st\ i} = \frac{4}{\pi} \cdot F_0 \cdot \left(\frac{H \cdot x_i}{3} - \frac{H^2}{4} - \frac{x_i^4}{12 \cdot H^2}\right) \quad (5-23)$$

s maximální hodnotou pro $x = 0$

$$M_{st\ \max} = \frac{-F_0 \cdot H^2}{\pi}$$

Podobně průhyb

$$y_{st} = \frac{1}{E \cdot I} \frac{4 \cdot F_0}{\pi} \left(\frac{H \cdot x_i^3}{18} - \frac{H^2 \cdot x_i^2}{8} - \frac{x_i^6}{360 \cdot H^2}\right) \quad (5-24)$$

s maximální hodnotou pro $x = H$

$$y_{st\ \max} = -\frac{1}{E \cdot I} \frac{52}{180\pi} \cdot F_0 \cdot H^4 = -9,2 \cdot 10^{-2} \cdot F_0 \cdot H^4 \frac{1}{E \cdot I}$$

Pak

$$y_{dyn\ \max} = \frac{4}{d_{\log}} \cdot y_{st} = \pm 0,368 \frac{F_0 \cdot H^4}{d_{\log} \cdot E \cdot I} \quad (5-18a)$$

a podobně

$$M_{dyn\ \max} = \frac{4}{d_{\log}} |M_{st}| = 1,273 \frac{F_0 \cdot H^2}{d_{\log}} \quad (5-19a)$$

Nejlépe problematika dynamického chování kolony při zatížení větrem vysvitne z následujícího příkladu.

Příklad: Pro kolonu s konstantním průřezem tj. průměrem $D = 2,2$ m, výškou $H = 70$ m a tloušťkou $s = 16$ mm spočítejte jednak pro prázdnou a jednak pro kolonu zaplněnou z 25% kapalinou kritickou rychlost a dynamické namáhání. Pomocné výpočtové hodnoty $d_{\log} = 0,035$, $E = 2,1 \cdot 10^5$ MPa.

Pro kritickou rychlost w_{kr} (5-2) je třeba vypočítat dobu kmitu T (5-9a)

$$T = 1,8 \cdot H \sqrt{\frac{Q \cdot H}{g \cdot E \cdot I}}$$

Souběžně bude proveden výpočet

a) pro prázdnou kolonu, kde

$$\begin{aligned} Q_k &= \pi \cdot D \cdot s \cdot H \cdot Q \cdot g = \pi \cdot 2,2 \cdot 0,016 \cdot 70 \cdot 7850 \cdot 9,81 = \\ &= 5,961 \cdot 10^5 \text{ N} \approx 6 \cdot 10^5 \text{ N} \equiv Q_a \end{aligned}$$

b) pro částečně zaplněnou kolonu, kde $Q_b = Q_k + Q_n$ a

$$Q_N = \frac{\pi}{4} \cdot (D - 2s)^2 \cdot 0,25 \cdot H \cdot \rho_k \cdot g = \frac{\pi}{4} \cdot (2,168)^2 \cdot 0,25 \cdot 70 \cdot 1000 \cdot 9,81 =$$

$$= 6,24 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$Q_b = 6 \cdot 10^5 + 6,24 \cdot 10^5 = 1,24 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Doba kmitu

$$T = 1,8 \cdot 70 \sqrt{\frac{Q_{a,b} \cdot 70}{1,378 \cdot 10^{11}}} = \begin{cases} 2,2 \text{ s} & \text{-a)} \\ 3,16 \text{ s} & \text{-b)} \end{cases}$$

s hodnotou $gEI = 9,81 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot \pi \cdot 1,1^3 \cdot 0,016 = 1,378 \cdot 10^{11}$

$$(I = \pi \cdot R^3 s ; R = D/2 = 1,1 \text{ m})$$

Pak kritická rychlost

$$w_{kr} = 5 \frac{D}{T} = 5 \frac{2,2}{T_{a,b}} = \begin{cases} 5 \text{ ms}^{-1} & \text{-a)} \\ 3,48 \text{ ms}^{-1} & \text{-b)} \end{cases}$$

Maximální aerodynamická síla

$$F_o = \frac{w_{kr}^2}{6,4} \cdot D = \frac{2,2}{6,4} \cdot w_{kr}^2_{a,b} = \begin{cases} 8,6 \text{ Nm}^{-1} & \text{-a)} \\ 4,16 \text{ Nm}^{-1} & \text{-b)} \end{cases}$$

Maximální výkmit

$$y_{dyn} = \pm 0,368 \cdot \frac{F_o \cdot H^4}{d_{log} \cdot E \cdot I} = \pm 0,368 \frac{F_o \cdot a,b \cdot 70^4}{3,5 \cdot 10^{-2} \cdot 1,405 \cdot 10^{10}} = \begin{cases} 0,155 \text{ m} & \text{-a)} \\ 0,0747 \text{ m} & \text{-b)} \end{cases}$$

Dynamický ohybový moment

$$M_{dyn} = 1,273 \frac{F_o \cdot H^2}{d_{log}} = 1,273 \frac{F_o \cdot a,b \cdot 70^2}{0,035} = \begin{cases} 1,532 \cdot 10^6 \text{ N.m} & \text{-a)} \\ 7,41 \cdot 10^5 \text{ N.m} & \text{-b)} \end{cases}$$

Je-li moment odporu $W_o = \pi \cdot R^2 \cdot s = \pi \cdot 1,1^2 \cdot 0,016 = 6,082 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3$

Pak dynamické napětí

$$\sigma_{dyn} = \pm \frac{M_{dyn}}{W_o} = \begin{cases} 2,52 \cdot 10^7 \text{ Pa} = 25,2 \text{ MPa} & \text{-a)} \\ 1,22 \cdot 10^7 \text{ Pa} = 12,2 \text{ MPa} & \text{-b)} \end{cases}$$

Z tohoto příkladu vyplývá jasně vliv tíhy Q ; čím je menší, tím vyvolá větší rozkmit a dynamické namáhání. Jak je vidět z postupu výpočtu, velký vliv má tíha, která neovlivňuje ohybovou tuhost - zde kapalina. Zvětšila-li by se tloušťka nebo průměr, bude současně ovlivněna ohybová tuhost a tohoto efektu jako u příkladu nedosáhne. Jako u kolon s kapalinou, tak u televizních věží se do vnitřních "kapes" přidává písek. Podobný vliv jako hmoty neovlivňující EI mají hmoty (závaží) zavěšené uvnitř válců na táhlech.

Dynamické napětí by nemělo překročit 50% statického namáhání a zároveň by s bezpečností nemělo dosáhnout meze únavy (po oceli tř.11 používané pro stavbu tlakových nádob $\sigma_{dyn} \leq 50 \text{ MPa}$).

Kritickou rychlost ovlivňuje průměr válce D ; čím bude průměr větší, tím menší bude kritická rychlost; např. je-li $D = 1 \text{ m}$, bude $w_{kr} = 5 \text{ ms}^{-1}$, ale pro $D = 3 \text{ m}$ $w_{kr} = 1,69 \text{ ms}^{-1}$. Menší průměry jsou proto nebezpečnější (komíny).

Další vliv na dynamické namáhání má aerodynamický tvar. Čím hladší povrch, tím nebezpečnější při dynamickém zatížení. Lepší jsou výstupky, členitý povrch,

i když se tím zvětšuje statický účinek. Vliv útlumu je zřejmý z rovnic 5-18 a 5-19. Pro komíny a věže jsou používány tzv. rušiče vztlaku, obvykle svislé obdélníkové plochy o výšce $b = (0,1 \text{ až } 0,2)D$, nejčastěji upravené do šroubovice. Optimální je tříchodá šroubovice s výškou $b = 0,09D$ a se stoupáním $5D$.

5.1.4 Seismicita

Největší ohybový moment je v dolním průřezu kolony (při uvažování pouze prvního tvaru kmitání)

$$M_{\max} = \sum F_{si} \cdot x_i \quad (5-25)$$

Výpočtový ohybový moment $M_{\text{výp}}$ v závislosti na M_{\max} se určuje takto:

a) pro výšku $h = (0,75 \text{ až } 1) H$ jako konstanta a rovná se $1/4 M_{\max}$, tj.

$$M_{\text{výp} 1} = 0,25 \cdot M_{\max} \quad (5-26a)$$

b) pro výšku $h = 0 \dots M_{\text{výp} 2} = 1,25 \cdot M_{\max}$ (5-26b)

c) pro výšky $h = (0 \text{ až } 0,75) H$ jako lineární průběh $M_{\text{výp}} = (1,25 \text{ až } 0,25) M_{\max}$ (5-26c)

Nejsou-li podklady o základu pro kolonu (s konst. průřezem)

pak
$$M_{\text{výp}} = c_s \cdot c_d \cdot Q \cdot H \cdot c_x \quad (5-26d)$$

kde součinitel

$$c_x = 0,55 - 0,59 \cdot \left(\frac{x}{H}\right) \text{ s hodnotou } c_x \text{ min} = 0,11$$

c_s - seismický součinitel pro střední základové půdy při výpočtové seismicitě 7 balů - $c_s = 2,5 \cdot 10^{-2}$; 8 balů - $c_s = 5 \cdot 10^{-2}$; 9 balů - $c_s = 10^{-1}$; vyjadřuje poměr zrychlení při pohybu půdy k zemskému zrychlení

c_d - dynamický součinitel seismického zatížení

$$\text{a) pro } \frac{H}{D} \geq 5 \dots\dots\dots c_d = \frac{1,45}{T}$$

$$\text{b) pro } \frac{H}{D} < 5 \dots\dots\dots c_d = \frac{1}{T}$$

Výpočtová seismická síla F_{si} ve středu i -té části pro první tvar vlastního kmitání

$$F_{si} = c_s \cdot c_d \cdot Q_i \cdot y_i \cdot Z \quad (5-27)$$

kde
$$Z = \frac{\sum Q_k \cdot y_k}{\sum Q_k \cdot y_k^2}$$
, s hodnotami y_k podle (5-11).

5.1.5 Kontrola tělesa kolony

Všechny základní výpočtové průřezy se kontrolují na

a) osové napětí tahové na návětrné straně:

$$\sigma_{ot} = \frac{p \cdot \bar{D}}{4 \cdot s_v} - \frac{F}{\pi \cdot D_i \cdot s_v} + \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D_i^2 \cdot s_v} \quad (5-28a)$$

kde \bar{D} - střední průměr kolony $\bar{D} = D_i + s$

D_i - vnitřní průměr

s_v - tloušťka $s_v = s - c$, kde c je přídavek podle ČSN 69 0010 .

b) osové napětí tlakové na závětrné straně

$$\sigma_{o \text{ tl}} = \frac{p \cdot \bar{D}}{4 \cdot s_v} - \frac{F}{\pi \cdot D_1 \cdot s_v} - \frac{4 \cdot M}{\pi \cdot D_1^2 \cdot s_v} \quad (5-28b)$$

c) obvodové napětí je pak

$$\sigma_t = \frac{p \cdot \bar{D}}{2 \cdot s_v} \quad (5-29)$$

Ekvivalentní napětí z HMM

a) na návětrné straně

$$\sigma_{et} = \sqrt{\sigma_{ot}^2 + \left(\sigma_t \cdot \frac{v_t}{v_o}\right)^2} - \sigma_{ot} \cdot \sigma_t \cdot \frac{v_t}{v_o} \quad (5-30a)$$

b) na závětrné straně

$$\sigma_{e \text{ tl}} = \sqrt{\sigma_{o \text{ tl}}^2 + \left(\sigma_t \cdot \frac{v_t}{v_o}\right)^2} - \sigma_{o \text{ tl}} \cdot \sigma_t \cdot \frac{v_t}{v_o} \quad (5-30b)$$

se součinitelem v_t - obvodového a v_o - podélného svaru podle ČSN 69 0010. Je-li

$\sigma_{ot} < 0$, pak $v_t = 1$; je-li $\sigma_t < 0$ pak $v_o = 1$.

Podmínka dimenzování je vyjádřena

$$\max(|\sigma_{o \text{ tl}}|, \sigma_{e \text{ tl}}) \leq \sigma_D \cdot v_t \quad (5-31a)$$

$$\max(|\sigma_{ot}|, \sigma_{et}) \leq \sigma_D \cdot v_t \quad (5-31b)$$

Je-li σ_{ot} nebo $\sigma_{o \text{ tl}} < 0$, pak $v_t = 1$

Za tlak p , sílu F a moment M se dosazují v

a) provozních podmínkách p = výpočtový přetlak; F = max. tíha v provozu Q_p ;

$M = M_Q + M_V$, tj. moment od účinku excentrických tíhových zatížení M_Q a ohybový moment od větru odpovídajícím výpočtovému průřezu a dané výšce; nebo v oblastech se seismičností vyšší než 7 balů větší z hodnot

$$M = M_Q + M_V \quad \text{nebo}$$

$M = M_Q + M_S$, což je ohybový moment od seismických účinků v odpovídající výšce.

b) při tlakové zkoušce: p = zkušební přetlak nebo hydrostatický přetlak p ;

F = tíha Q_k - kolony a Q_N - náplně; $M = M_Q + 0,6 \cdot M_V$

c) při montážních podmínkách: $p = 0$; $F = Q_k \text{ max}$ nebo pro kotevní šrouby $F =$

$= Q_{\text{min}}$; M - větší z hodnot $M = M_Q + M_{Vb}$ nebo $M = M_Q + 0,8 \cdot M_{Vs}$, kde M_{Vb} - moment bez lešení M_{Vs} - s lešením; pro oblasti se seismickou vyšší než 7 balů se stanoví největší moment ze tří

$$M = M_Q + M_{Vb}$$

$$M = M_Q + 0,8 \cdot M_{Va}$$

$$M = M_Q + M_S$$

Oblasti namáhané tlakem je nutno kontrolovat na stabilitu, kde

$$\frac{p}{p_D} + \frac{F}{F_D} + \frac{M}{M_D} \leq 1 \quad (5-32)$$

kde p_D , F_D , M_D se kontrolují podle ČSN 69 0010, část 4.4

5.2 Metoda postupného dimenzování válcové kolony

Je zřejmé, že největší potřebná tloušťka bude při maximálním zatížení, které lze nalézt v nejnižších místech nádoby. Zde se provede superpozice napětí ve směru osovém od výpočtového přetlaku, vlastní tíhy a od statického účinku větru (rovnice 5-28a,b) a srovná s dovoleným napětím σ_p (5-30). Pak se ve směru od hlavy kolony vypočte délka, na které původně navržená tloušťka válcové části vyhovuje. Pak se zvětší tloušťka o 2 až 4 mm a ze stejných vztahů se vypočte délka druhé části. Takto se pokračuje až do poslední části nádoby - paty kolony. K osovému napětí od vnitřního nebo vnějšího přetlaku

$$\sigma_o = \frac{pD}{4s_v}$$

kde výpočtová tloušťka $s_v = s_p - c$ (s_p - provedená) se přičte napětí od tíhy izolace s Q_i , jejíž tloušťka s_i bývá od 100 do 250 mm

$$\sigma_{oi} = \frac{\pi \cdot D_i \cdot s_i \cdot H_i \cdot Q_i \cdot g}{\pi \cdot D \cdot s_v} = Q_i \cdot g \cdot H_i \cdot \frac{s_i \cdot D_i}{s_v \cdot D}$$

a napětí od tíhy skořepiny s jednotkovým zatížením $G = Q_m \cdot g \cdot s_p$ [Pa] s rozvínutou plochou pláště $\pi \cdot D \cdot H = A$

$$\sigma_{oG} = \frac{G \cdot A}{\pi \cdot D \cdot s_v} = Q_m \cdot g \cdot H$$

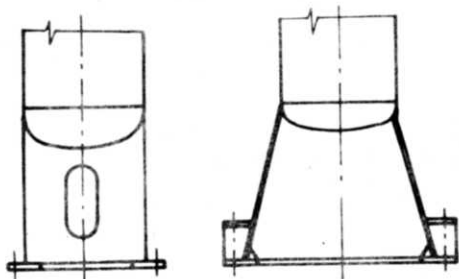
K uvedené superpozici je možno připojit ještě zatížení od tíhy pater a připojených částí. Výpočtové hodnoty zatížení pater (základní tíha patra a kapaliny) je u zvonkového $q = 1,3$ kPa, ventilového a klapkového 715 Pa, síťového 585 Pa. Pak napětí

$$\sigma_{op} = n \cdot q \cdot \frac{D}{4 \cdot s_v} \quad (n - \text{počet pater})$$

K připojeným částem patří žebříky s ochranným košem se zatížením 380 Nm^{-1} , volné žebříky 150 Nm^{-1} , potrubí destilátu na hlavě kolony s izolací - $1,25 \text{ kNm}^{-1}$, plošiny 800 Nm^{-1} , montážní rameno 2 kNm^{-1} a břemeno na rameni 5 kNm^{-1} . Napětí se počítá z tíhy částí nad vyšetřovaným místem (řezem); tíha žebříků a potrubí je funkcí výšky, ostatní zatížení se přičítají jednorázově.

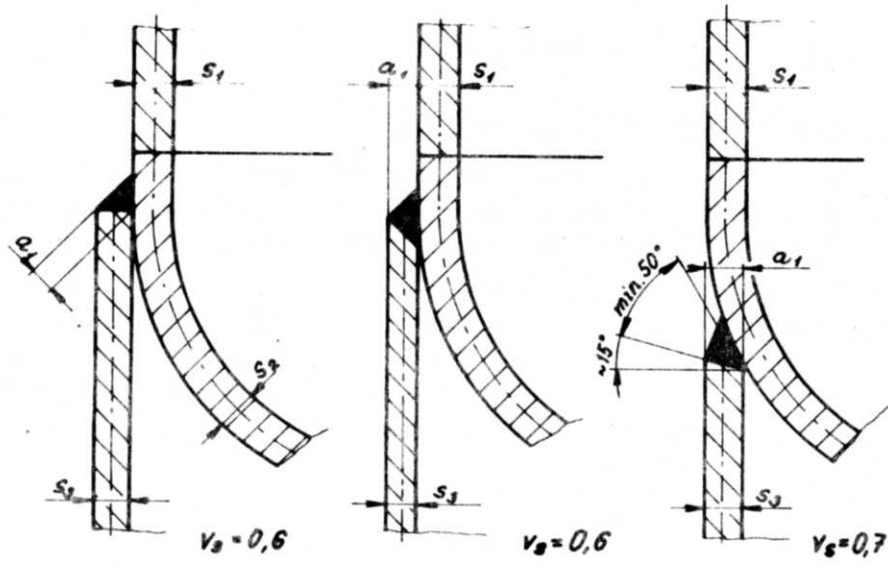
5.3 Podstavec

Účelem podstavce je rovnoměrně rozložit statické a dynamické síly na stavební základ. Podstavce válcové nebo kuželové (obr.5.3) pro kolony menších průměrů se kontrolují v těchto místech:

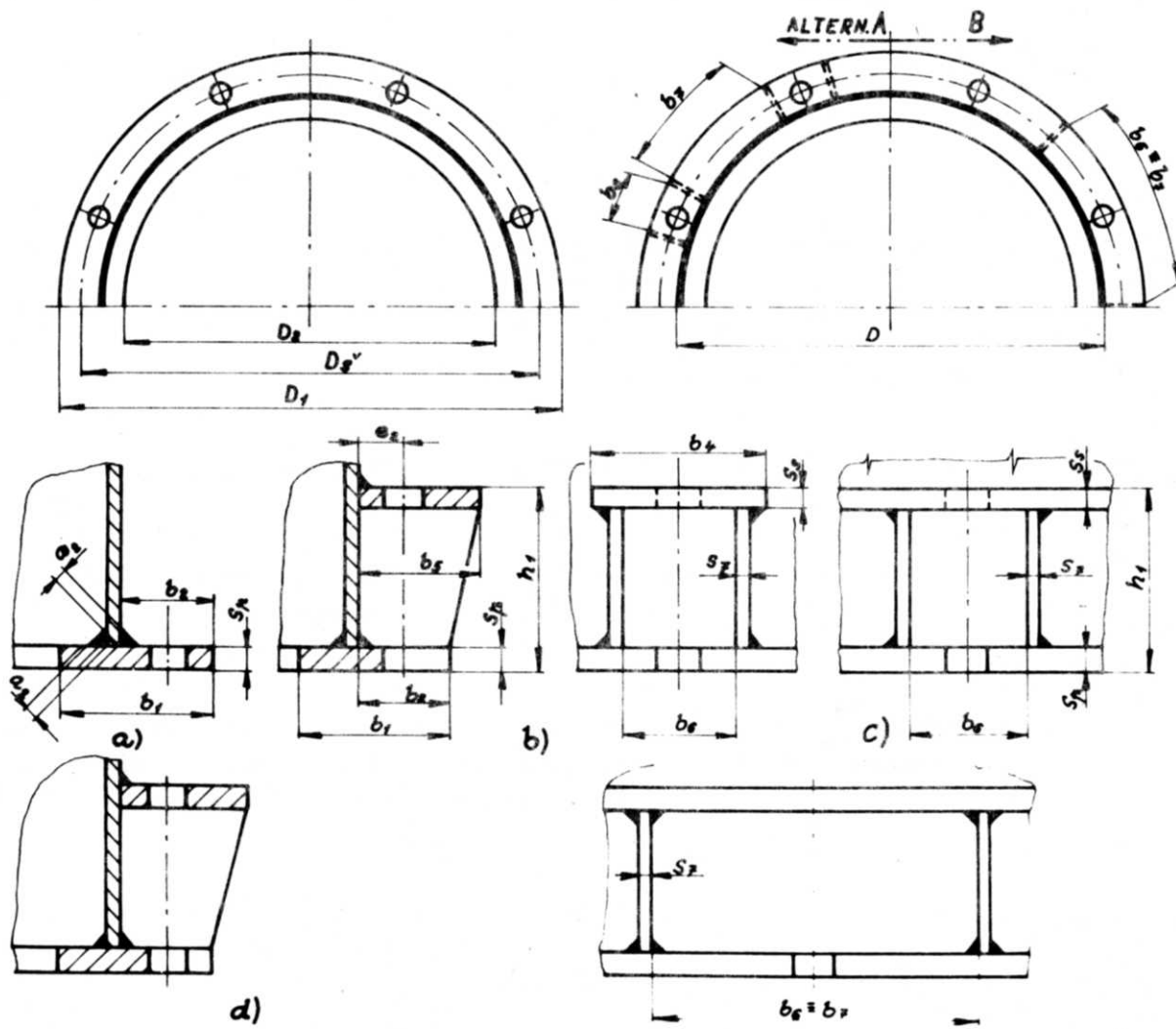


obr.5.3

- spojení kolony s podstavcem (svarový spoj) obr.5.4,
- místo největšího zeslabení pláště podstavce otvory pro montáž spodního potrubí kolony - kontrola stability,
- dimenzování tloušťky patečného pretence,
- dimenzování základových šroubů,
- dimenzování patečného rámu nebo stoliček -



obr.5.4



obr.5.5

- obr.5.5 ,

f) dimenzování betonového základu,

g) dimenzování tloušťky podstavce.

Kontrola pevnosti svaru o tloušťce a_1 vychází z podmínky

$$\sigma_o = \frac{1}{\pi \cdot D_{ip} \cdot a_1} \cdot \left(\frac{4 \cdot M}{D_{ip}} + F \right) \leq v_s \min \cdot \left\{ \begin{array}{l} \sigma_D \text{ kolony} \\ \sigma_D \text{ podstavce} \end{array} \right\} \quad (5-33)$$

kde velikost součinitele svaru v_s a rozměr a_1 je uveden na obr.5.4.

Kontrola stability podstavce v místě maximálního zeslabení (obr.5.6a) vychází z podmínky

$$\frac{1}{c_1} \frac{F}{F_D} + \frac{M + F \cdot D_3 \cdot c_3}{c_2 \cdot M_D} \leq 1 \quad (5-34)$$

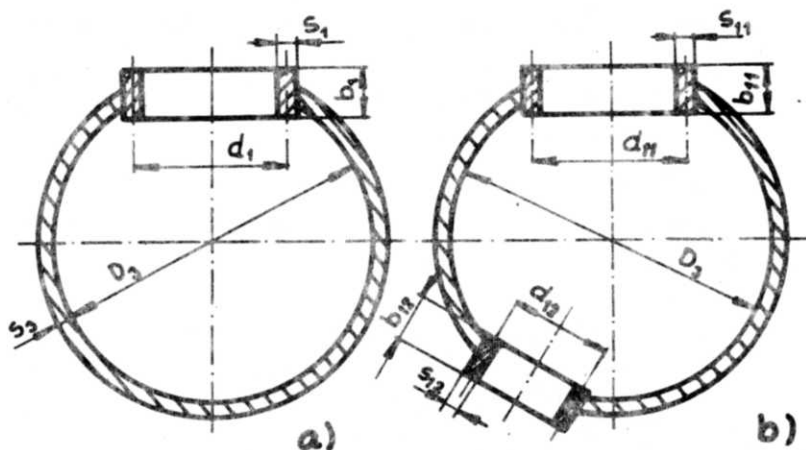
kde $c_1 = \min \left\langle \begin{array}{l} 1 \\ \frac{k}{\pi} \left(1 + \frac{2}{k} \frac{b_1}{D_3} \frac{s_{v1}}{s_{v3}} \right) \end{array} \right\rangle \quad (5-35a)$

$$c_2 = \min \left\langle \begin{array}{l} 1 \\ \min \left\langle \begin{array}{l} \frac{c_4}{|2c_3 + (\frac{b_1^2}{D_3^2} - \cos k)|} \\ \frac{c_4}{|1 - 2c_3|} \end{array} \right\rangle \end{array} \right\rangle \quad (5-35b)$$

$$c_3 = \frac{\sin k + A \cdot B \cdot \cos k}{k + A \cdot B} \quad (5-35c)$$

$$c_4 = \frac{1}{\pi} \left[k + \sin k \cdot \left(\cos k - \frac{2}{k} \sin k \right) + \frac{2}{k} \cdot (k \cdot \cos k - \sin k)^2 \frac{AB}{k + AB} + \frac{AB^3}{6} \right] \quad (5-35d)$$

$$k = \pi - \arcsin \frac{d_1}{D_3} ; A = \frac{2 \cdot b_1}{D_3} ; B = \frac{s_{v1}}{s_{v3}} ; s_{v1} = s_1 - c ; s_{v3} = s_3 - c$$



obr.5.6

Je-li v průřezu maximálního zeslabení podstavce více otvorů (obr.5.6b), pak za předpokladu, že pro ostatní otvory převyšují součinitelé c_1 a c_2 hodnotu 0,95, vypočte se podmínka (5-34) pro největší otvor. Nemí-li toto splněno, pak se provede korekce součinitelů

$$c_1 = \frac{s}{\pi D_3 \cdot s_{v3}} ; c_2 = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot D_3^2 \cdot s_{v3}} ;$$

$$c_3 = \frac{x_T}{D_3}$$

kde S - je plocha celkově zeslabeného příčného průřezu podstavce [m^2]

W - jeho nejmenší průřezový modul v ohybu [m^3]

x_T - vzdálenost těžiště zeslabeného průřezu od středu. [m]

Má-li plášť podstavce obvodový svar pak jeho kontrola pro osové napětí

$$\sigma_o = \frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot s_{V3}} \cdot \left[\frac{4 \cdot (M + c_2 D_3 \cdot F)}{c_2 \cdot D_3} - \frac{F}{c_1} \right] \leq v_T \cdot \sigma_D \quad (5-36)$$

s hodnotami c_1, c_2 a c_3 podle (5-35a až c).

Je-li obvodový svar umístěn mimo oblast otvorů, je $c_1 \equiv c_2 = 1$ a $c_3 = 0$.

Dimenzování patečného prstence podle obr.5.5.

$$\text{Šířka } b_1 \geq b_{1v} = \frac{1}{\pi D_s \cdot \sigma_{Db}} \left(\frac{4M}{D_s} + F \right) \quad (5-37)$$

příčměž

$$b_1 = \frac{D_1 - D_2}{2} \quad \text{s} \quad \begin{aligned} D_1 &= (1,08 + 1,18)D_3 \\ D_2 &= (0,9 + 0,95)D_3 \end{aligned}$$

a zatížení základu σ_z

$$\sigma_z = \frac{F}{s_z} + \frac{M}{W_z} \leq \sigma_{Dz} \quad (5-38)$$

kde

$$s_z = \frac{\pi}{4} (D_1^2 - D_2^2) \quad \text{a} \quad W_z = \frac{\pi}{3} \frac{D_1^4 - D_2^4}{D_1} \quad (5-38)$$

Šířka b_2 by měla být v rozmezí

$$2 d_2 + 30 \text{ mm} \quad \text{až} \quad 2/3 b_1$$

Tlakové napětí v betonu σ_b

$$\sigma_b = \sigma_{Db} \frac{b_{1v}}{b_1} \quad (5-39)$$

Svary patečného prstenu pro provedení a) podle obr.5.5 se kontrolují na podmínku

$$\sigma_o = \frac{1}{\pi \cdot D_3 \cdot 2a_2} \left(\frac{4M}{D_3} - F \right) \leq 0,6 \cdot \sigma_D \quad (5-40)$$

Pro ostatní provedení není nutno svary kontrolovat.

Tloušťka patečného prstence s_p vychází ze zatížení vetknutého nosníčku o jednotkové šířce s vyložení b_2 zatíženého $q = \sigma_z \cdot b_2$; pak moment

$$\begin{aligned} M &= \frac{q \cdot b_2}{2} = \frac{\sigma_z \cdot b_2^2}{2} \quad \text{příčměž napětí v něm} \\ \sigma &= \frac{M}{W} = \frac{6 \cdot M}{s_p^2} = \frac{3 \cdot \sigma_z \cdot b_2^2}{s_p^2} \leq \sigma_D \quad (5-41) \end{aligned}$$

Tloušťku pro provedení b) až d) je nutno korigovat součinitelem k_p

$$k_p = \frac{1 + 1,81 \cdot \left(\frac{b_2}{b_z}\right)^3}{1 + 2,97 \cdot \left(\frac{b_2}{b_z}\right)^3} \quad (5-42)$$

a pro provedení a) je $k_p = 1$ nebo je nutno ještě kontrolovat na velikost

$$s_p = \sqrt{\left(4 \cdot \frac{M}{D_3} - F\right) \frac{4 \cdot e_2}{\pi \cdot \sigma_D \cdot D_3} + c} \quad (5-43b)$$

kde $e_2 = 0,5 \cdot (D_3 - D_3)$

jinak

$$s_p \geq \max \left\langle \begin{array}{l} k_p \cdot b_2 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot \sigma_{D_b}}{\sigma_D} + c} \\ 1,5 \cdot s_3 \end{array} \right. \quad (5-43a)$$

Vyjde-li $s_p > 2s_3$, je nutno volit provedení c) nebo d).

tloušťka horního přestence nebo desky stoličky s_s by měla být větší než

$$s_s \geq \max \left\langle \begin{array}{l} k_s \sqrt{\frac{A_{\check{s}} \cdot \sigma_{D_{\check{s}}}}{\sigma_D} + c} \\ 1,5 \cdot s_3 \end{array} \right. \quad (5-44)$$

kde součinitel

$$k_s = \sqrt{\frac{3 \cdot b_5/b_6}{1 + \frac{(b_5/b_6)^2}{1 - \frac{e_1}{b_6}}} + c} \quad (5-45)$$

e_1 = průměr kružnice vepsané šestihranu matice kotevního šroubu

$A_{\check{s}}$ = plocha průřezu jádra šroubu (malý průměr)

$\sigma_{D_{\check{s}}}$ = dovolené namáhání šroubů

Tloušťka žebra s_7 má splňovat podmínku

$$s_7 = \max \left\langle \begin{array}{l} \frac{A_{\check{s}} \cdot \sigma_{D_{\check{s}}}}{k_z \cdot b_2 \cdot \sigma_D} + c \\ 0,4 \cdot s_3 \end{array} \right. \quad (5-46)$$

kde $k_z = 2$ pro provedení b) a d)

$k_z = 1$ pro provedení c)

Žebra s poměrem $b_2/s_7 > 20$ je nutno dodatečně kontrolovat na stabilitu.

Zatížení pláště podstavce od horního přestence nebo desky stoličky vyvolá místní ohybové napětí

$$\sigma_o = \frac{6 \cdot k_o \cdot A_{\check{s}} \cdot \sigma_{D_{\check{s}}} \cdot e_2}{s_{v3} \cdot h_1} \quad (5-47)$$

kde

$$k_o = -2,48 \cdot 10^{-2} \cdot (\ln X - \sqrt{\ln X^2 + 2,628}) + Y$$

$$X = \frac{1}{1100} \frac{D_3}{2 \cdot s_{v3}} \left(\frac{10 \cdot b_4}{D_3}\right)^{2,05}$$

b_4 uvedeno pro provedení b), pro provedení c) $b_4 = b_5$ a pro d) $b_4 = b_6 + b_7$

$$Y = 0 \text{ je-li } X \leq 9,1$$

$$Y = -2 \cdot 10^{-3} \cdot \ln(x/9,1) \text{ pro } X > 9,1$$

Přičemž platí, že

$$\sigma_0 \leq \sigma_D \text{ ohyb podle ČSN 69 0010, část 4.20.}$$

Vzdálenost patečného prstence od horního prstence nebo desky h_1 ; je-li $b_2 = b_5$ pak

$$h_1 \geq \frac{D_g \cdot e_2 \cdot b_1}{2 \cdot (s_g - c) \cdot b_5} \cdot \frac{\sigma_{Db}}{\sigma_D} \cdot \left(\frac{1}{k_5} + \frac{6,58}{n_g^2 \cdot k_6} \frac{D_g}{b_5} \right) \quad (5-48)$$

Přitom se doporučuje užít $s_p = s_g \approx 2 \cdot s_3$

$$k_5 = 1 + \frac{1,56 \cdot \sqrt{D_3 \cdot s_{v3}}}{b_5} \frac{s_{v3}}{s_{v5}} ; k_6 = 1 + 2 \cdot (k_5 - 1) \cdot \left[1 + \frac{s_{v3}}{b_5} - \frac{(k_5 - 1)}{2} \right]$$

n_g - počet základových šroubů

Dimenzování základových šroubů

Počet šroubů n_g bývá 4, 6, 8, 10, 12 a dále počet dělitelný 4.

Malý průměr závitu šroubů je dán podmínkou

$$d_z \geq 2,3 \cdot \sqrt{\frac{M - 0,44 \cdot F \cdot D_g}{n_g \cdot \sigma_{Dš} \cdot D_g}} + c \quad (5-49)$$

Za F se dosazuje minimální tíha kolony Q_{\min} .

Je-li podíl

$$\frac{0,44 \cdot F \cdot D_g}{M} > 1, \text{ doporučuje se pro kolony s průměrem menším než}$$

1 400 mm $n_g = 4$ a průměr M 24; pro průměry 1 400 až 2 200 mm $n_g = 6$ šroubů M 30; pro $> 2 200$ mm je $n_{g \min} = 12$ s průměrem M 36.

Základový šroub má zachytit případná tahová napětí, která jsou maximální při Q_{\min} . Momentová výminka (obr.5.7) k místu reakce

$$\sum M_R = M_V - Q_{\min} \cdot x_0 - F_g \cdot a = 0 \quad (5-50)$$

Je-li

$$\sigma_{\text{tah}} = \frac{Q_{\min}}{s_z} - \frac{M_V}{W_z} \quad \text{a} \quad \sigma_{\text{tlak}} = \frac{Q_{\min}}{s_z} + \frac{M_V}{W_z}$$

pak z geometrie plyne, že

$$n = D_g - m \quad \text{a} \quad m = \frac{\sigma_{\text{tah}} \cdot D_g}{\sigma_{\text{tah}} + \sigma_{\text{tlak}}} ; m_1 = \frac{D_g}{2} - m$$

$$x_0 = 2/3 \cdot m - m_1 ; a = \frac{D_g}{2} + x_0$$

a lze spočítat sílu F_g . Při větším počtu šroubů v tahové oblasti, např. podle obr.5.7

$$M_V - Q_{\min} \cdot x_0 - 2 \cdot F_{g1} \cdot a_1 - F_{g2} \cdot a_2 = 0 \quad (5-50a)$$

$$\frac{2 F_{g1}}{F_{g2}} = \frac{b_1}{b_2} \quad \text{kde} \quad b_1 = a_1 - (m_1 + x_0)$$

$$b_2 = a_2 - (M_1 + x_0)$$

Souřadnice těžiště pro velmi malé poměry a_3/D se určí z

$$x_0 = \frac{S_V}{A} \quad (5-51)$$

kde S_V = statický moment seříznuté části válce, která nahraňuje tlakovou oblast zatížení

A = plocha seříznuté části válce

Po odvození pro proměnný úhel

daný

$$\sin \alpha = \frac{R_g - m}{R_g}$$

lze psát, že

$$x_0 = R_g \cdot c_\alpha =$$

$$= R_g \frac{\frac{\sin 2\alpha}{4} + \frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2}}{\sin \left(\frac{\pi}{2} + \alpha \right) + \cos \alpha} \quad (5-52)$$

Závislost proměnné c_α na úhlu α udává následující tabulka

α	0°	10°	20°	30°	40°
c_α	0,785	0,744	0,702	0,661	0,621

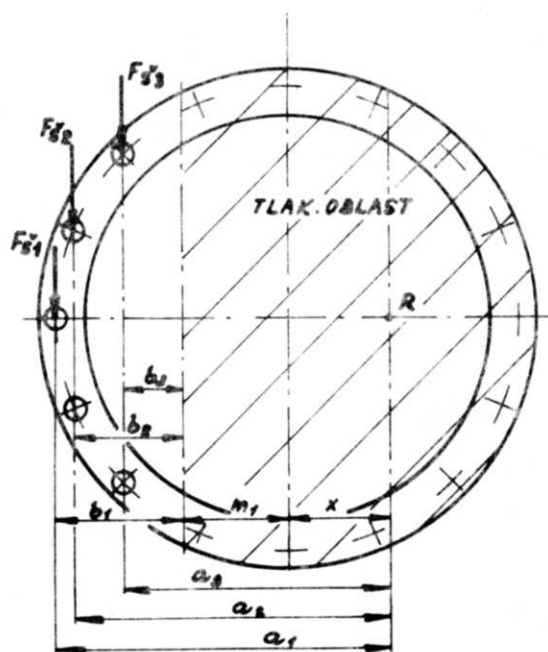
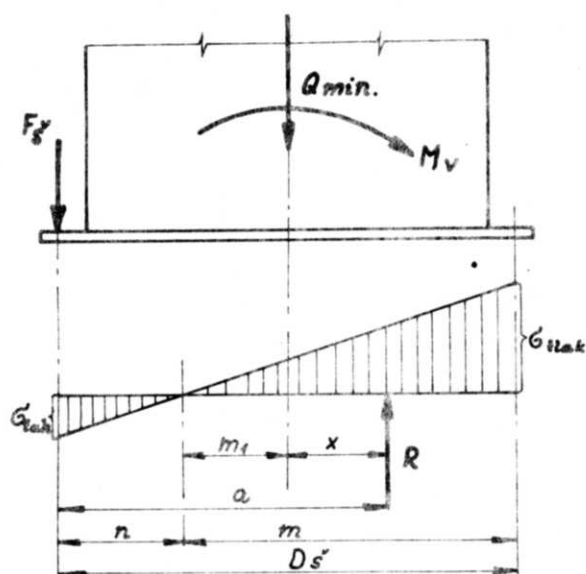
	50°	60°	70°	80°	90°
	0,584	0,551	0,525	0,507	0,5

Dimenzování tloušťky podstavce při jeho připojení na anuloidovou část spodního dna; řešení [16] vychází ze zatížení soustavy válec - 1, dno - 2 a podstavec - 3 při zatížení vnitřním přetlakem a vnějším momentem. Pro rozložené části lze sestavit pro každé zatížení rovnice rovnováhy a rovnice kompatibility. Při zatížení přetlakem p jsou (obr.5.8)

rovnice rovnováhy:

$$\left. \begin{aligned} Q_1 + Q_2 + Q_3 &= 0 \\ M_1 + M_2 + M_3 &= 0 \end{aligned} \right\} (5-53a)$$

rovnice kompatibility s ohledem na kladné směry naznačené v obr.5.8



obr.5.7

$$\begin{aligned} \text{část 1 : část 2} \quad \Delta r_{Q1} \cdot Q_1 - \Delta r_{M1} \cdot M_1 + \Delta r_{p1} &= \\ &= \Delta r_{Q2} + \Delta r_{M2} \cdot M_2 + \Delta r_{p2} \\ &- \nu_{Q1} \cdot Q_1 + \nu_{M1} \cdot M_1 = \nu_{Q2} \cdot Q_2 + \nu_{M2} \cdot M_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{část 1 : část 3} \quad \Delta r_{Q1} \cdot Q_1 - \Delta r_{M1} \cdot M_1 + \Delta r_{p1} &= \\ &= \Delta r_{Q3} \cdot Q_3 + \Delta r_{M3} \cdot M_3 \\ &- \nu_{Q1} \cdot Q_1 + \nu_{M1} \cdot M_1 = \nu_{Q3} \cdot Q_3 + \nu_{M3} \cdot M_3 \end{aligned}$$

(5-53b)

Při zatížení vnějším momentem m

$$\left. \begin{aligned} \text{rovnice rovnováhy: } Q_1 + Q_2 + Q_3 &= 0 \\ M_1 + M_2 + M_3 &= -m \end{aligned} \right\} \quad (5-54a)$$

rovnice kompatibility:

$$\begin{aligned} \text{část 1 : část 2} \quad \Delta r_{Q1} \cdot Q_1 - \Delta r_{M1} \cdot M_1 &= \Delta r_{Q2} \cdot Q_2 + \Delta r_{M2} \cdot M_2 \\ &- \nu_{Q1} \cdot Q_1 + \nu_{M1} \cdot M_1 = \nu_{Q2} \cdot Q_2 + \nu_{M2} \cdot M_2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{část 1 : část 3} \quad \Delta r_{Q1} \cdot Q_1 - \Delta r_{M1} \cdot M_1 &= \Delta r_{Q3} \cdot Q_3 + \Delta r_{M3} \cdot M_3 \\ &- \nu_{Q1} \cdot Q_1 + \nu_{M1} \cdot M_1 = \nu_{Q3} \cdot Q_3 + \nu_{M3} \cdot M_3 \end{aligned}$$

(5-54b)

Za předpokladu, že tloušťky $s_1 = s_2 \neq s_3$ a poměr $d = s/s_3$ a vnější moment m má velikost $m = q \cdot a$, kde rameno

$$a = \frac{s}{2} \left(\frac{1}{d} + \sqrt{5 \cdot \frac{s}{r} + 1} \right)$$

pro $r/s > 25$ je $a = s/2 \cdot (1/d + 1,1)$

Použitím $\Delta r_{p1} = 0,85 \cdot pr^2/s_1$; pro hluboce klenuté dno $\Delta r_{p2} = -1,65 \cdot pr^2/s_2$ a vysokotlaké dno $\Delta r_{p2} = -1,15 \cdot pr^2/s_2$; dále lze psát, že

$$\Delta r_{Q1} = 2,57 \cdot \left(\frac{r}{s_1} \right)^{1,5}; \quad \Delta r_{M1} = 3,3 \cdot \frac{r}{s_1^2}$$

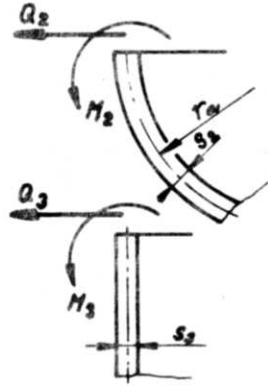
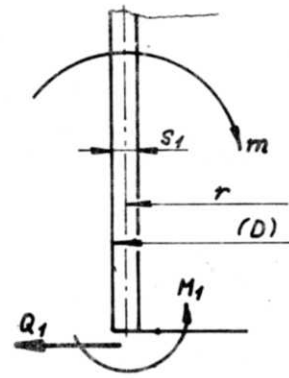
$$\nu_{Q1} = \Delta r_{M1}; \quad \nu_{M1} = 8,5 \sqrt{\frac{r}{s_1^5}}$$

Řešením obvyklým postupem lze vypočítat tloušťku stěny podstavce při spojení s hluboce klenutým dnem pro odhadnutý poměr d

$$s_3 \geq \frac{1}{d} \left| \frac{X_3 \cdot p \cdot D + 2 \cdot Y_3 \cdot q}{2 \cdot \sigma_{D3} + X_3 \cdot p} \right| \quad (5-55a)$$

$$\text{a dna} \quad s \geq \frac{X_2 \cdot p \cdot D + 2 \cdot Y_2 \cdot q}{2 \cdot \sigma_{D2} + X_2 \cdot p} \quad (5-56a)$$

Doporučuje se volit poměr d v mezích 0,8 až 1,25.



obr.5.8

Při spojení podstavce s vysokotlakým dnem

$$s_3 \geq \frac{1}{d} \left| \frac{\bar{X}_3 \cdot p \cdot D + 2 \cdot Y_3 \cdot q}{2 \cdot \sigma_{D3} + \bar{X}_3 \cdot p} \right| \quad (5-55b)$$

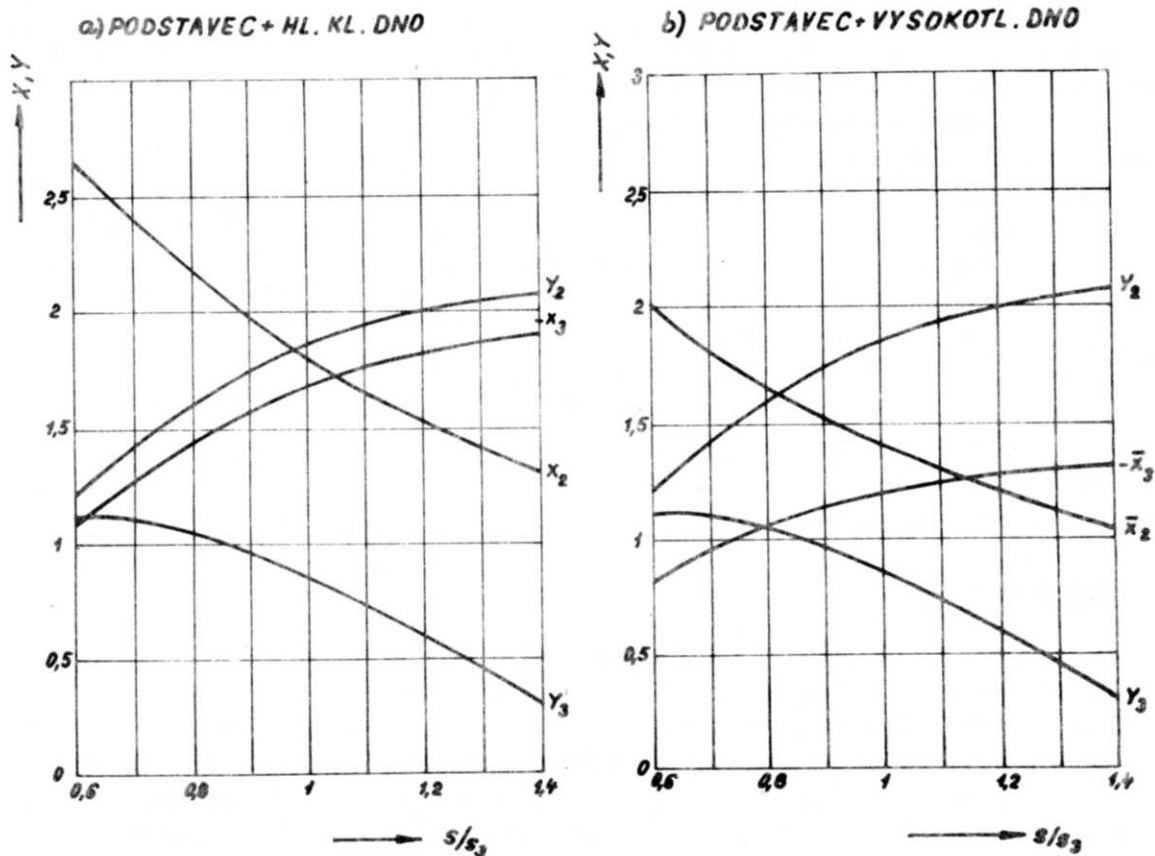
a dna

$$s \geq \frac{\bar{X}_2 \cdot p \cdot D + 2 \cdot Y_2 \cdot q}{2 \cdot \sigma_{D2} + \bar{X}_2 \cdot p} \quad (5-56b)$$

S doporučeným poměrem d v mezích 0,9 až 1,25 .

Příslušné hodnoty konstant \bar{X}_1 a Y_1 jsou jednak na obr.5.9 a jednak v následující tabulce:

d	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4
$-\bar{X}_3$	1,08	1,28	1,44	1,57	1,68	1,76	1,82	1,86	1,89
$-\bar{X}_2$	0,8	0,94	1,05	1,13	1,2	1,24	1,28	1,3	1,31
$+Y_3$	1,11	1,1	1,05	0,96	0,85	0,73	0,59	0,45	0,31
\bar{X}_2	2,64	2,41	2,18	1,99	1,82	1,67	1,54	1,42	1,33
\bar{X}_3	1,99	1,81	1,66	1,52	1,39	1,28	1,19	1,11	1,04
Y_2	1,19	1,42	1,6	1,75	1,85	1,93	1,99	2,03	2,06

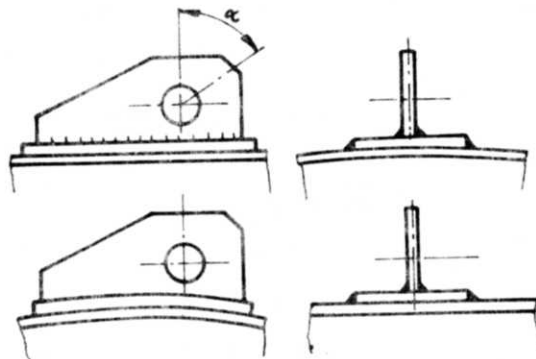


obr.5.9

Za tlak p se obvykle dosazuje zkušební přetlak p_z a hydrostatický při tlakové zkoušce $p = p_z + \rho \cdot g \cdot h$, za $q = q_Q + q_M$, kde $q_Q = Q_{max} / \pi \cdot D$, $q_M = 4 \cdot M_{celk} / \pi \cdot D^2$. Dovolené namáhání σ_{D3} se ještě koriguje příslušným součinitelem zeslabení v (souč. svaru)

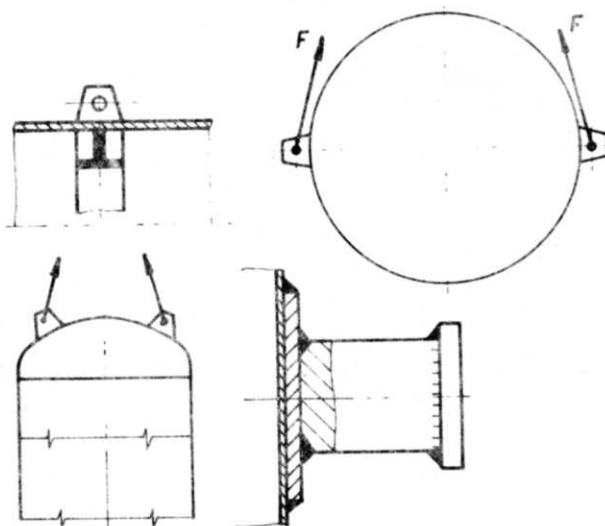
5.4 Příslušenství kolon

Závěsná oka (obr.5.10) slouží k uchycení nádob nebo jejich částí pro nakládání a montáž, pro uchycení do pomocné konstrukce nebo na kotvení lany. Provádí se s podložkou nebo bez ní nebo se vyztužují uvnitř kolony zpevňujícím prstencem (obr.5.11). Při vyšším namáhání se pro uchycení může použít čepů, které bývají v páru, aby bylo možno použít smyčky nosného lana.



obr.5.10

Ochozy a lávky (ON 69 0830) kruhové nebo segmentové plošiny se zábradlím a žebříky slouží pro montáž, údržbu a kontrolu vestavby kolon (obr.5.12 a 5.13). Musí se orientovat k řídicím osám aparátu a výšková vzdálenost mezi sousedními ochozy (5.13) musí být taková, aby světlý podchod pod vyšším z nich byl nejméně 2,1 m vysoký. Ochozy sousedních kolon je možno spojit lávkou jedno- i oboustranně. Kruhové ochozy jsou navrhované jako šroubované konstrukce se svařovanými prvky. Úchyt konzoly ochozu je přichycen na plášť kolony. Podleha ochozů je tvořena podlahovými rošty podle ČSN 74 6930 a je dimenzována jakož i její podpěrné části na nahodilé zatížení 5 kPa. Ochranný koš u žebříků (obr.5.12) na vyvýšených konstrukcích má pro šíři výstupního ochozu menší než 1,2 m prodloužen zádový kryt. U žebříků na vyvýšených konstrukcích je tento kryt proveden podle ON 69 0830.

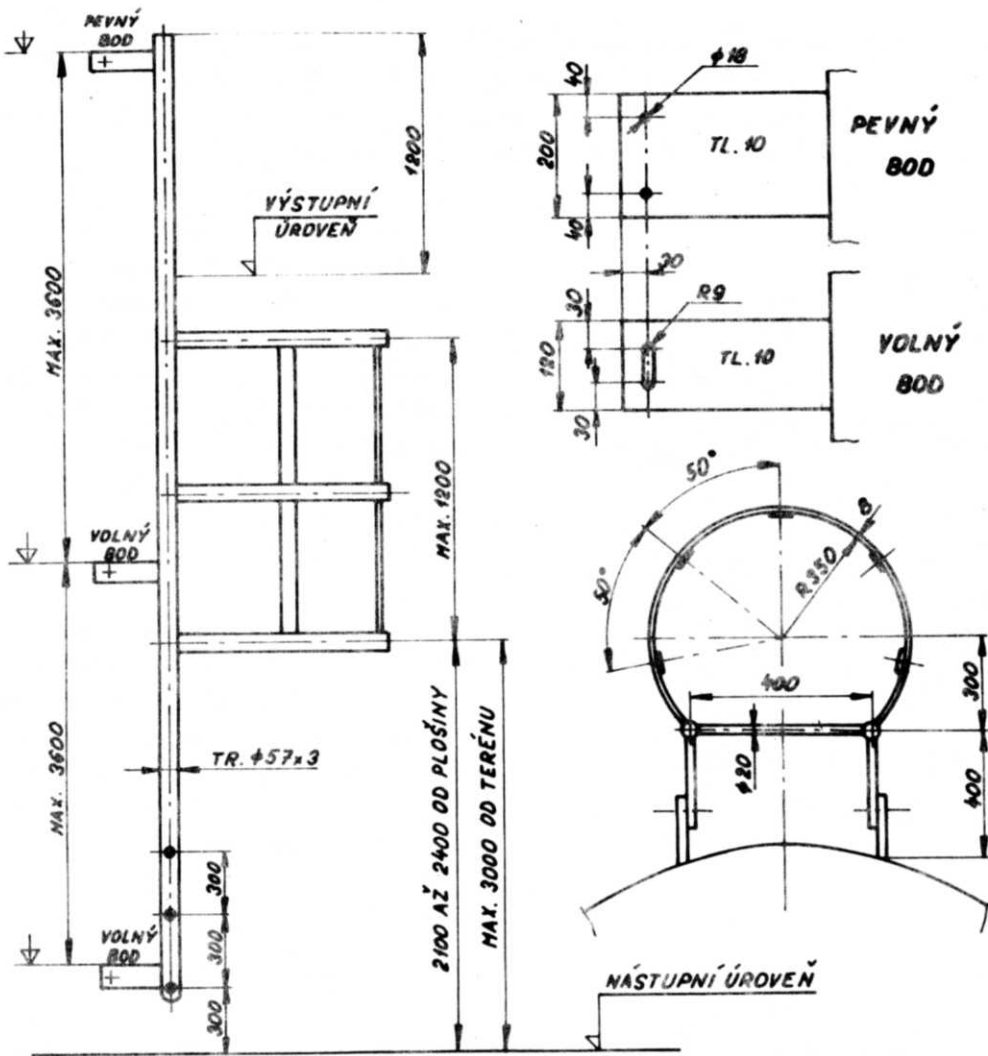


obr.5.11

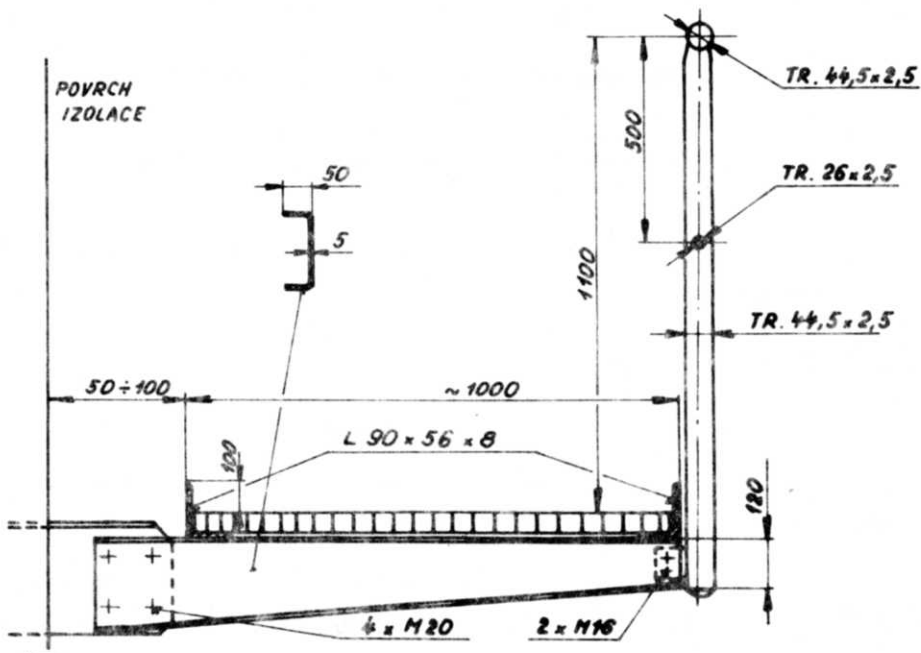
5.5 Kolonová patra

Kolonové patro je základní funkční prvek kolony a uskutečňuje nebo zprostředkovává sdílení hmoty a tepla mezi parní a kapalnou fází dělených složek. Patrových kolon se nejvíce užívá při destilaci a rektifikaci. Mimo výjimečné případy jsou užívány standardní typy pater. Nejvýhodnější konstrukce pater je taková, která umožňuje co nejvyšší účinnost dělení při co nejmenší tlakové ztrátě. Kromě toho má umožňovat snadnou údržbu a bezporuchový provoz. Dělení patra na segmenty je možno dosáhnout snazší jeho montáž průlezem.

Protože nelze v provozu dosáhnout rovnoměrné zatížení kolony, je výhodné na-

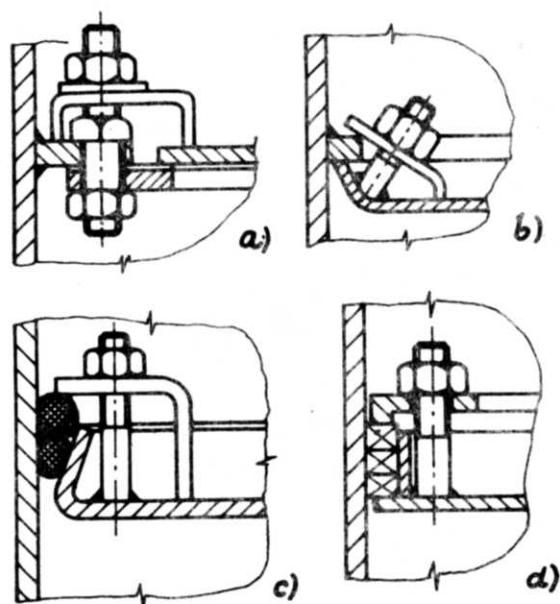


obr.5.12



obr.5.13

vrhnout její režim na větší rozmezí výkonů a složení nástřiků. Nároky na patra jsou tedy velké a jejich splnění je často podmíněno tím, že se omezí některá procesní nebo výrobní vlastnost patra; v podstatě ta, která je pro daný návrh nejméně na závadu, aby se tím udržela nebo zlepšila vlastnost jiná, která je pro daný proces důležitější.



obr.5.14

Patra se umísťují na skruž nebo na vnitřní výztužný prstenec a to tak, aby jejich uložení a samotné patro bylo vodorovné a aby jeho průhyb byl co nejmenší. Mezi patrem a uložením resp. pláštěm musí být těsnění (obr.5.14); medium, které neprochází patrem, ale mimo, se neúčastní procesu a snižuje účinnost patra. Těsnění musí být z materiálu odolného prostředí, obvykle to bývá pryž.

Průhyb patra nesmí přesáhnout $D/1000$ nebo $D/2000$ u větších průměrů nebo 3 mm, z důvodů rovnoměrnosti průtoku patrem. Ke snížení průhybu lze užít nosných válcovaných profilů. Zatížení patra bez opěrné kostry je dáno zatížením kapalinou o výšce h a vlastní tíhou patra o tloušťce s ; pak zatížení

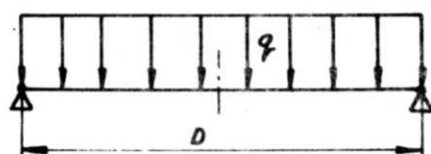
$$q = Q_K \cdot g \cdot h + Q_M \cdot g \cdot s \quad [\text{Pa}] \quad (5-57)$$

Patro je možno považovat za podepřenou kruhovou desku (obr.5.15), jehož tloušťka

$$s = 0,555 \cdot D \cdot \sqrt{\frac{q}{6D}} + c \quad (5-58)$$

příčemž musí být splněna podmínka, že max. průhyb uprostřed

$$y_{\max} = 0,043 \cdot \frac{q \cdot D^4}{E \cdot (s-c)^3} \leq \frac{D}{1000} \text{ až } \frac{D}{2000}, \text{ nebo } 3 \text{ mm} \quad (5-59)$$



obr.5.15

U patra s opěrnou kostrou podle obr. (5.16) bude rám zatížen

$$q = g \cdot (Q_K \cdot h + Q_M \cdot s) + \frac{4 \cdot Q_N}{\pi \cdot D^2} \quad (6-60)$$

kde Q_K , Q_M jsou hustoty kapaliny a materiálu patra [kg m^{-3}]

Q_N - tíha nosníků podpěrné konstrukce [N]

Zatížení ploch A_1 až A_6

$$F_1 = q \cdot A_1, \quad F_2 = q \cdot A_2 \dots (5-61)$$

Měrné liniové tlaky na jednotlivé délky nosníků dané koncovými body a až h

$$q_1 = \frac{F_1}{ab + bc + ac} ; \quad q_2 = \frac{F_2}{bd + cd + bc} ; \quad q_3 = \frac{F_3}{ac + cf + ef + ae} ;$$

(5-62)

Zatížení centrálního nosníku \overline{bh} je možno znázornit schematem na obr.5.16, kde

$$q_{bc} = q_1 + q_2 + q_{Nbc} ; \quad q_{cf} = q_3 + q_4 + q_{Ncf} ;$$

(5-63)

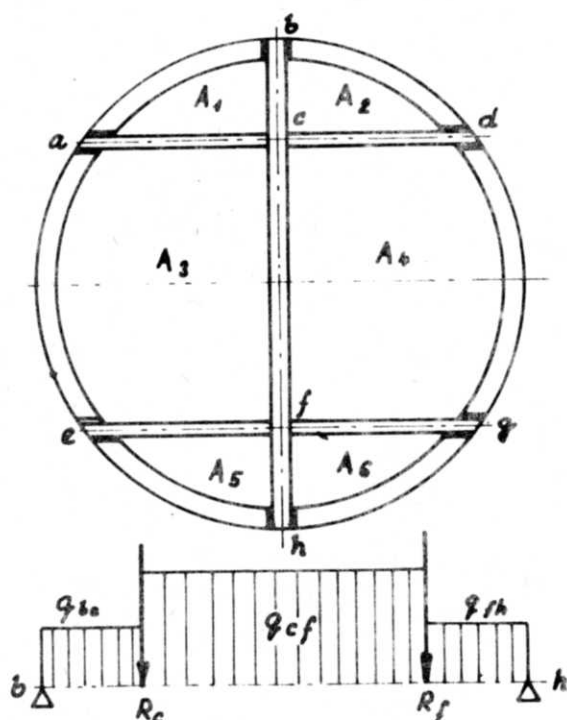
$$q_{fh} = q_5 + q_6 + q_{Nfh}$$

a reakce v místě připojení bočních nosníků R_c a R_f

$$R_c = \frac{1}{2} \cdot (q_1 + q_3) \cdot \overline{ac} + \frac{1}{2} \cdot (q_2 + q_4) \cdot \overline{cd}$$

$$R_f = \frac{1}{2} \cdot (q_3 + q_5) \cdot \overline{ef} + \frac{1}{2} \cdot (q_4 + q_6) \cdot \overline{fg}$$

(5-64)



obr.5.16

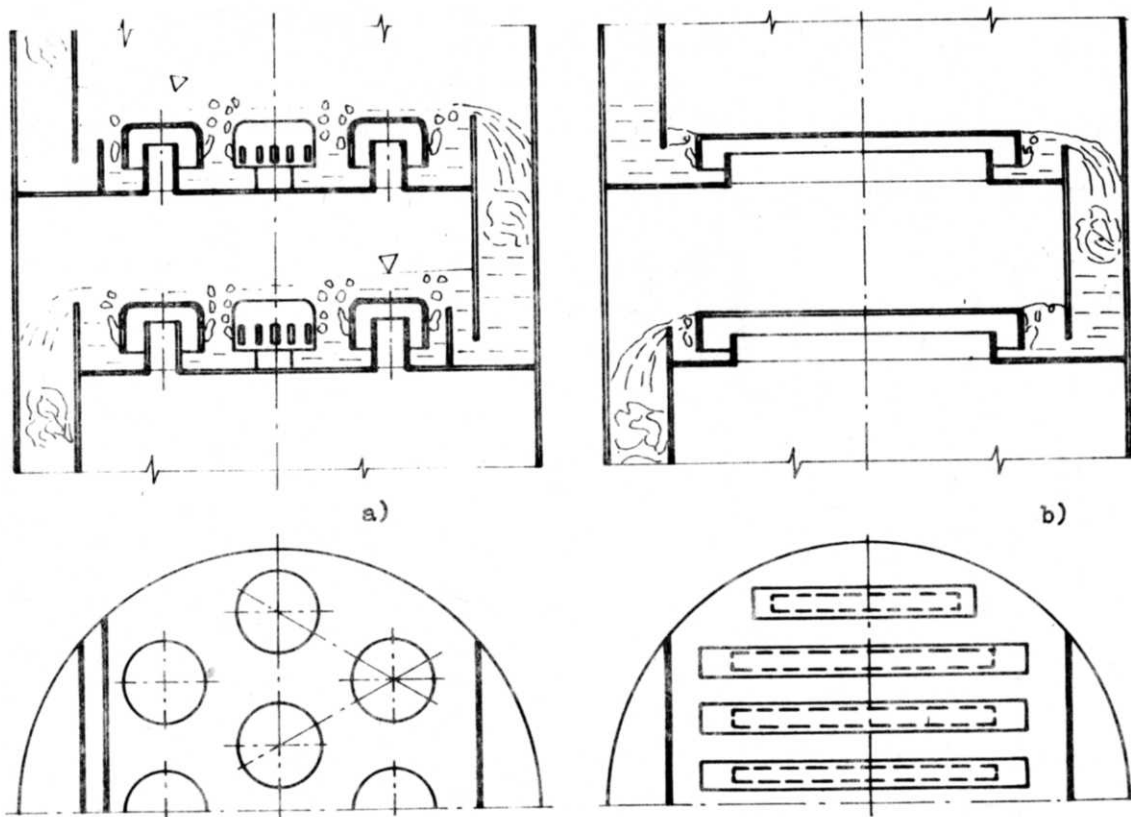
Z těchto zatížení se podle [5-3,5-6] vypočte $M_{0 \max}$ a pro dovolené namáhání se vypočte moment odporu W a podle této hodnoty se nalezne vhodný rozměr nosníku \overline{bh} . Podobně lze dimenzovat i nosníky \overline{ac} , \overline{cd} , \overline{ef} a \overline{fg} .

Na nejvyšší patro působí dynamické účinky větru tak, že při největším zrychlení hlavy kolony v úvrati dojde ke sklonu hladiny. Různá výška kapaliny na patře vyvolává zhoršení jeho účinnosti protože průchod pak se soustřeďuje na místa zmenšeného hydraulického odporu. Z výchylky vrcholu y_{dyn} lze pak spočítat maximální zrychlení v úvratích a poměr tohoto zrychlení k zemskému zrychlení udává sklon hladiny.

5.5.1 Zvonková patra

Zvonková patra jsou dosud nejužívanějším typem patrových přepadových destilačních kolon (obr.5.17a). Komínek jednotlivých

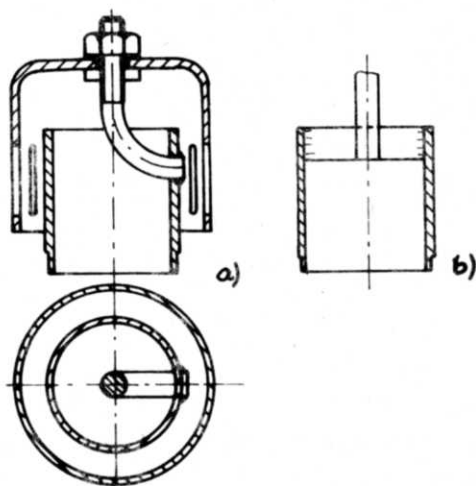
vých zvonků (obr.5.18), které jsou normalizovány v ON 69 3530 a 31, uspořádaných většinou do trojúhelníka, má horní okraj umístěný výše než horní kraj zářezu kloboučku - zvonku; pára musí vytlačit kapalinu při průchodu komínkem, probublá zářezy a vrstvou kapalinou do volného prostoru nad patrem. Při průchodu kapalinou dojde ke změně složení parní fáze; v kapalině z kondenzuje pára výše vroucí kapalinou. Klasickou konstrukcí patra lze přizpůsobit daným podmínkám různými způsoby. Počínaje tvarem zářezu kloboučku až po jeho vlastní tvar a perforaci. Úpravy klasických zvonkových pater jsou velmi rozsáhlé a jsou podrobně popsány v souhrnné i firemní literatuře. Princip zvonku zůstává stále stejný, mění se jen příslušenství určené především k zadržení parou unášené kapalinou. Zvonková patra lze bez obtíží sestavovat do kaskádní úpravy příčně i radiálně a to též umožňuje montáž do kolomy průlezem. Uchycení zvonků na komínku je na příkladech na obr.5.18.



obr.5.17

5.52 Tunelová patra

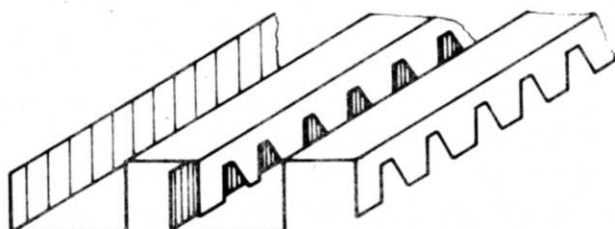
Tato patra (obr.5.17b) jsou tvořena podélnými kloboučky - dlouhými krabicemi s výřezy. Kromě podélných tunelových pater se vyrábějí kruhová tunelová patra ve tvaru soustředných mezikružší a uprostřed je kruhový zvonek. Výhoda tunelových pater spočívá ve snadnější montáži a demontáži, nevýhoda v nižší celkové účinnosti, protože plocha výřezů je o něco menší než u kloboučkových. Konstrukčně zjednodušenou variantou jsou kloboučky ve tvaru S-plechů (obr.5.19) s výřezy po jedné straně. Na patře je možno složit hustěji než tunelové kloboučky, rovněž montáž i demontáž je jednodušší. Jak S, tak i tunelové kloboučky umožňují kaskádní uspořádání.



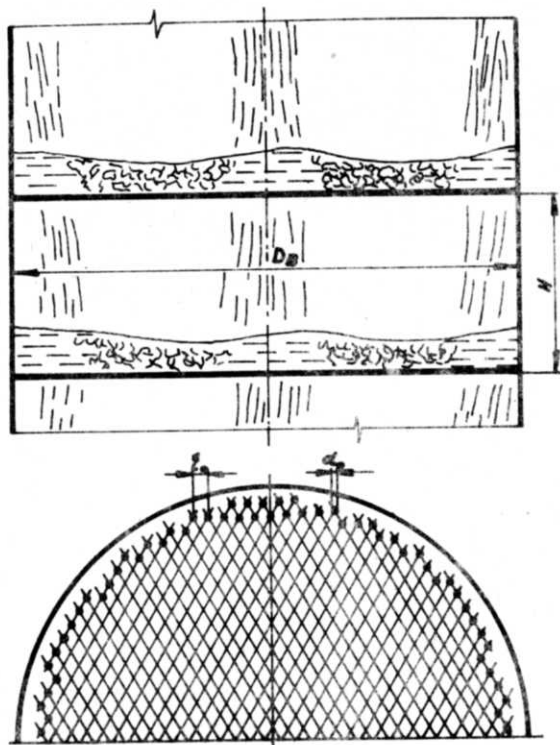
obr.5.18

5.5.3 Síťová patra

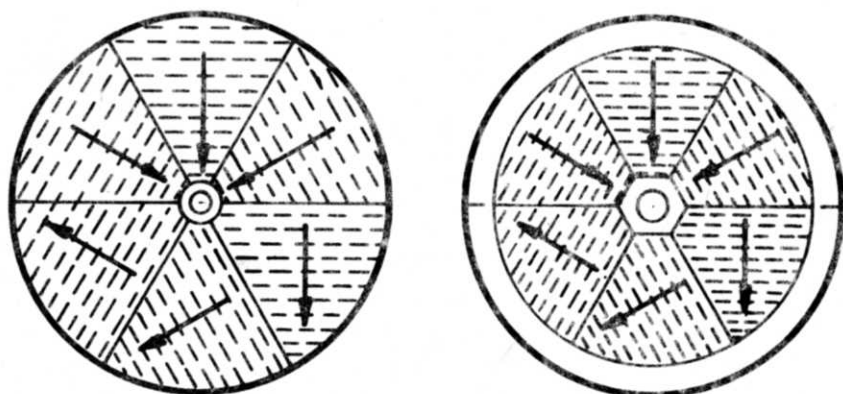
Síťová patra (obr.5.20) tvoří perforované plechy s otvory různých tvarů - kruhovými, oválnými nebo štěrbinovými mohou být jak přepadová, tak i bezpřepadová. Pára prochází některými otvory



obr.5.19



obr.5.20



obr.5.21

vytvořit též proříznutím plechu. Rošťová patra jsou z důvodů rovnoměrnějšího rozložení kapalně fáze směrováním vzhledem k sousedním patřům pootočením o 90° .

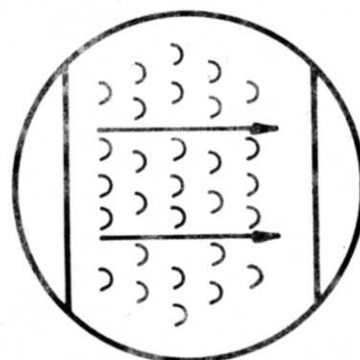
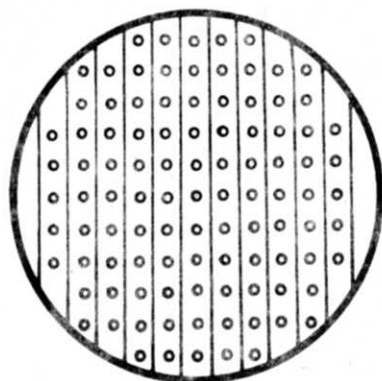
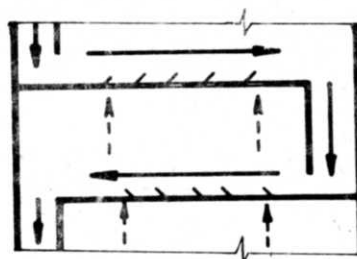
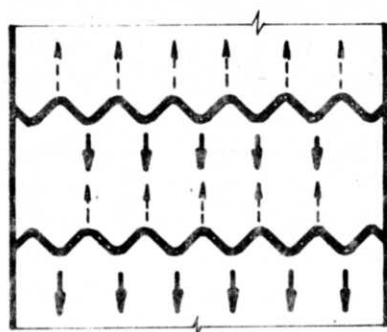
5.5.5 Ventilová patra

Podle základního funkčního prvku bývají nazývány též záklopkové. Patro má kruhové nebo podélné otvory a v otvorech jsou umístěny záklopkové různé tvarů (obr.5.24). Uchyceny jsou tak, že volně procházejí otvorem a světlý průřez se přizpůsobuje podle okamžitých průtoků kapaliny. Průtok se pohybuje od nuly do maximální hodnoty dané průtočným průřezem, jeho tvarem, vlastnostmi kapaliny a tlakovým spádem na ventilu. Ventil se pohybuje v otvoru omezeně buď ve vodícím pouzdře nebo v závislosti na vlastním tvaru, když vodící lišty jsou zakončené úpravou bránící vypadnutí proudem kapaliny nebo páry. Nejužívanější je ventil Glitsch

vzhůru a zbývajícími stéká kapalina na nižší patro. Na patře se vytváří kapalinový film a proto se někdy nazývá toto patro filmové. Pokud je patro opatřeno přepady, jsou otvory na patře menší, aby se udržela určitá vrstva kapaliny, z níž část odtéká přepadem. Štěrbinová patra - vestavby šikmo orientované (obr.5.21) mají za účel usměrňovat tok (cirkulaci) kapaliny na patře; v sousedním patře se opakuje totéž, ale s opačnou orientací vestavby. Výhodou perforovaných pater je jejich nižší cena proti kloboučkovým (zejména u nerez materiálů), menší zanášení. Na druhé straně ale umožňují menší rozsah výkonů při maximální účinnosti. Výhodné jsou rovněž vlnitá síťová patra bez přepadu (obr.22), která usměrňují tok páry i kapaliny. Mústková patra (obr.23) s podélnými prolisy o šířce 15 až 20 mm a délce 30 až 40 mm jsou novými úspornými patry umožňujícími vyšší účinnost; vyrábějí se v KS Brno.

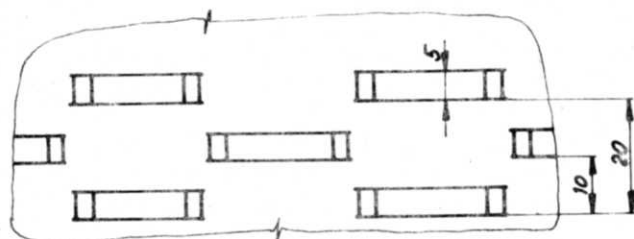
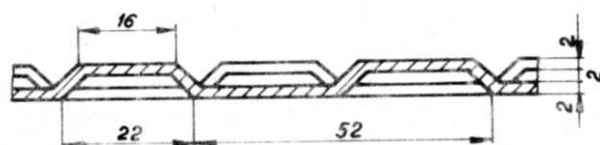
5.5.4 Rošťová patra

Podobně jako u pater perforovaných je princip rošťových pater podobný. Patro je vytvářeno skládáním dlouhých pásek nebo lamel položených vodorovně nebo šikmo. Tím vznikají dlouhé štěrbinové; ty je možno



obr.5.22a

obr.5.22b



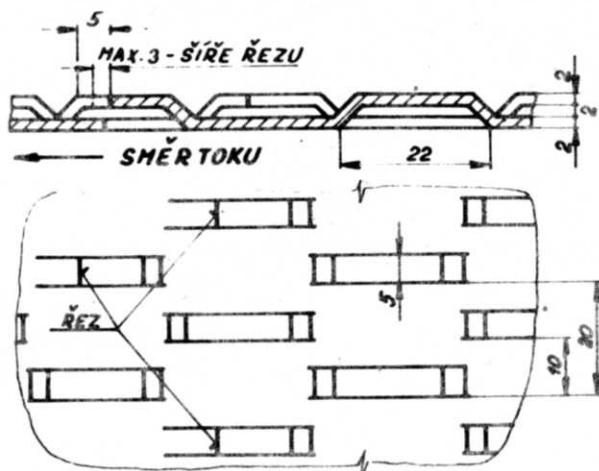
obr.5.23a

(5*24), ostatní se snaží vyhnout patentové ochraně tohoto ventilu. Kombinací zvonku a ventilu jsou patra Varioflex (obr.5.25); v kleci se pohybuje talíř ventilu, který je při nulovém průtoku uložen v rovině patra, při maximálním se zadrží víčkem. Podobně jsou řešeny tzv. zátěžové ventily (obr.5.26) kde navíc je při určitém otevření ventilu zabráněno rychlému otevření na maximální průtok. Záklopkové ventily bývají čtvercové se zvlněnými okraji, obdélníkové nebo tvaru L (obr. 5.27). Výhodou záklopkových pater

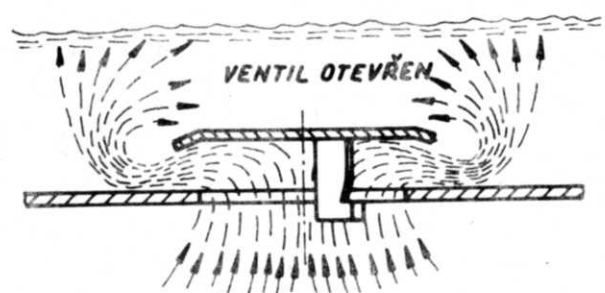
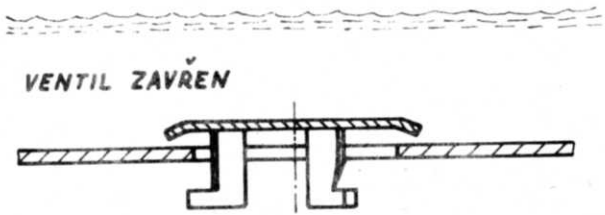
jsou nízké hydraulické ztráty, velmi dobrá účinnost a především přizpůsobivost ke změnám v množství nástřiku a složení směsi.

5.5.6 Náplňové kolony

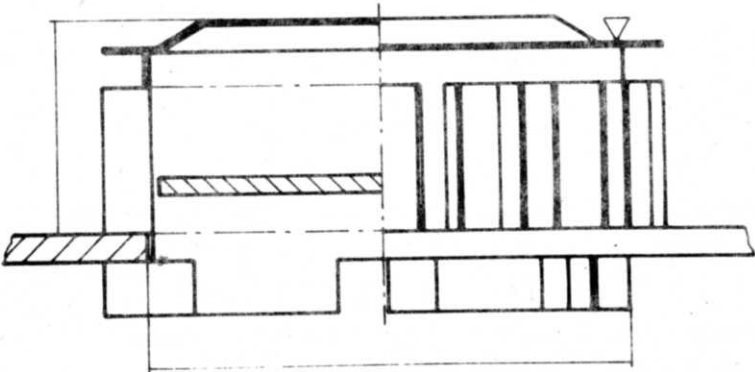
Tyto aparáty jsou užívány nejen jako jednoduché destilační a rektifikační kolony, ale též jako absorbery nebo pračky. Jsou schopny umožnit větší průtok kapaliny než patra. Pro náplň se používají různé vrstvy a) kompaktní pórovité vrstvy jako porézní keramika, speciální papír apod., b) zrnitého materiálu, jako písku, aktivního uhlí, sypaných vrstev s předem zvolenými parametry, c) sypané náplně z tělísek



obr.5.23b



obr.5.24



obr.5.25

zvolených parametrů nebo poréz-
ní keramiky sestavované do vrs-
tev v koloně.

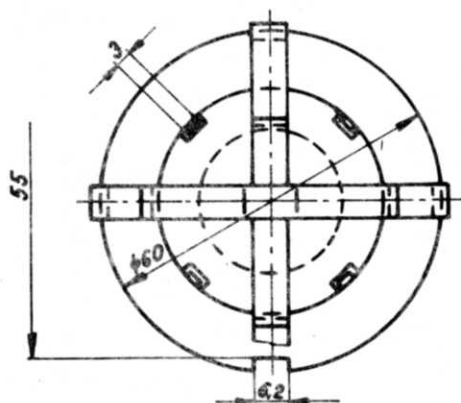
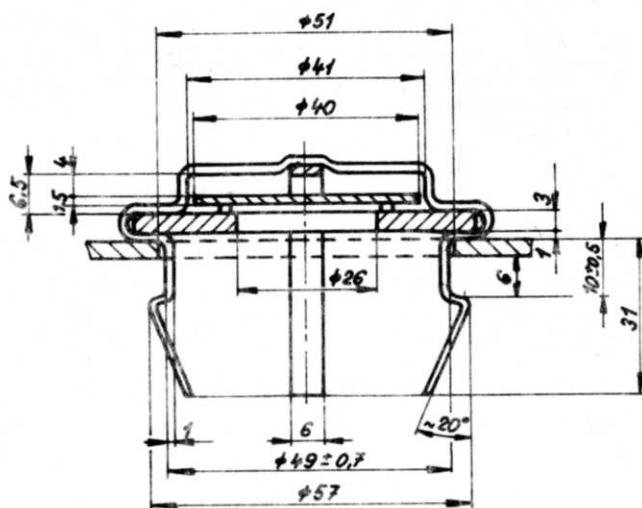
Maximální výška náplně ne-
má přesahovat 3 m , protože pak
již není zaručeno rovnoměrné
rozdělení kapaliny. Geometrický
tvar a materiál náplně se volí
podle potřeb procesu. Nejčastěj-
ším materiálem tělísek náplně je
keramika, porcelán, sklo, kovy,
plasty nebo materiál splňující
chemické a pevnostní požadavky.
Hlediska pro výběr tvaru a veli-
kosti náplně vycházejí z požadav-

ků na velký měrný povrch při malém
objemu, na nízký odpor při průtoku
a na stejnoměrné rozdělení kapaliny,
páry nebo plynu v celém průřezu ko-
lony a na dostatečnou pevnost a odol-
nost proti rozdrocení. Z kameniny,
porcelánu, plechu a uhlíku se vyrábě-
jí nejznámější Rashigovy kroužky, z
kameniny a porcelánu Lessingovy krouž-
ky, Berlova a Ontalox sedélka, Pall
kroužky, trojúhelníková a mřížková
tělíska apod.

Rovnoměrnému rozdělení kapaliny
po celém průřezu podél výšky náplně
a mezi jednotlivými sekcemi a pro ná-
střík slouží různé distributory nebo
rozdělovací věnce. Rozdělovací věnec
rozdívá kapalinu z perforovaného ple-
chu a komínků s přetoky; další varian-
tou je systém trubek s otvory uspořá-
danými jako rošt - ke zvýšení rozdě-
lovacího účinku je zespodu umístěno
drátěné pletivo. U patro-
vých kolon se nástřík usměr-
ňuje na prvním patře, při-
čemž kapalina na další pat-
ro natéká již usměrněná. U
náplňových kolon funkci roz-
dělovacího patra plní redi-
stributor, který stahuje ka-
palinu z míst s nejmenším
hydraulickým odporem ve dnu
sekce a opět ji rovnoměrně
rozdělí po průřezu před ná-
tokem do následující sekce,

U patrových kolon tuto funkci přejímá sama konstrukce pater a přeпадů.

Náplňová tělíska volně sypaná nebo rovnaná jsou v sekci podpírána nosným roštem, který mimo podpěrnou funkci má propouštět kapalinu do redistributoru. Nejjednodušší rošt bývá svařen z obruče a soustavy rovnoběžných pásků z ploché oceli. Velikost mezer musí být menší než rozměr tělísek. Aby nedošlo k rozvírání pásků, bývají příčně spojeny kulatinou. Únosnost roštů z plechů, plochých ocelí a tyčí bývá uváděna výrobcem.



obr.5.26



obr.5.27

Literatura

- [5 - 1] Alexandrov, I.A.: Rektifikacionnyje i absorbcionnyje apparaty, Moskva 1965
- [5 - 2] Barnštejn, M.F.: Dinamičeskij rasčot vysokich sooruzenij cilindričeskoj formy. Issledovanija po dinamike sooruzenij C NIISK - viz norma SSSR - SN - 40-58
- [5 - 3] Bažant, Nedoma, Spála: Nauka o pružnosti a pevnosti. Tech. přívodce 3, VTN Praha 1950

- [5 - 4] ČSN 69 0010, část 4.22: Tlakové nádoby stabilní. Nosné části vysokých svislých nádob, 1988
- [5 - 5] ČSN 69 0014 (ST SEV 1644-79): Výpočet namáhání vysokých svislých nádob a aparátů zatížených větrem a seismickými účinky, 1982
- [5 - 6] Hájek, E. a kol.: Pružnost a pevnost, I, II - Ed. střed. ČVUT, 1982
- [5 - 7] Klapp, E.: Apparate- und Anlagentechnik, Springer 1980
- [5 - 8] Koloušek, V.: Dynamika stavebních konstrukcí, SNTL 1954
- [5 - 9] Křupka, V.: Výpočet válcových tenkostěnných kovových nádob a potrubí, SNTL 1967
- [5 - 10] Křupka, V., Schneider, P.: Stavba chem. zařízení I. Skořepiny tlakových nádob a nádrží, SNTL 1982
- [5 - 11] Lukavský, J. a kol.: Konstrukce výrobních zařízení, Ed. střed. ČVUT 1984
- [5 - 12] Pilař, A. a kol.: Chemické inženýrství III - Difúzní operace, SNTL 1972
- [5 - 13] Pravidla pro návrh a konstrukci kolonových aparátů, PT 10-C-08, CHE-MOPROJEKT Praha 2/85
- [5 - 14] Stabnikov, V.N.: Rektifikacionnyje apparaty, Moskva 1965
- [5 - 15] Titze, H.: Elemente des Apparatebaues, Springer, 1967
- [5 - 16] Varga, K., Vlk, F.: Pevnostní výpočet válcových podstavců kolon. Strojírnoství 15, 1965, 9, 650-662
- [5 - 17] Vichman, G.L., Kruglov, S.A.: Osnovy konstruirovanija apparatov i mašin neftepererabatyvajuščich zavodov. Moskva 1962